

ANALISIS GEOMORFOLÓGICO, SUBCUENCA SHULLCAS, CORDILLERA HUAYTAPALLANA-JUNIN



INAIGEM, 2021

Contenido

1.	INTRODUCCION	3
2.	ÁREA DE ESTUDIO	3
3.	METODOLOGÍA	5
4.	DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA	7
4.1.	MONTAÑAS	9
4.1.1.	Ambiente Glaciar – Formas Acumulativas	9
4.1.2.	Ambiente Glaciar - Formas Erosivas	16
4.1.3.	Ambiente Peri-glaciar – Formas Acumulativas	17
4.1.4.	Ambiente Peri-glaciar - Formas Erosivas	18
4.2.	LOMADAS Y COLINAS	18
4.2.1.	Laderas Degradadas	18
4.2.2.	Superficies de Erosión	18
4.3.	ABANICOS ALUVIÓNICOS	19
4.3.1.	Abanicos Aluvionales 1, 2, 3 y 4	19
4.4.	FONDO DE VALLE (RÍO MANTARO)	20
4.4.1.	Terrazas Aluviales	20
4.4.2.	Terrazas y Barras Fluviales	20
4.5.	FORMAS GRAVITACIONALES	21
4.5.1.	Laderas Deslizadas	21
4.5.2.	Terrazas Aluvionales	22
4.5.3.	Conos de Deyección	22
4.5.4.	Conos Fluvio-Glaciares	22
4.5.5.	Conos Aluvionales	23
5.	CONCLUSIONES	23
6.	RECOMENDACIONES	24
7.	BIBLIOGRAFÍA	25

1. INTRODUCCIÓN

Dotados de una gran capacidad morfogenética, los glaciares además de su trabajo de transporte, realizan significativas labores de erosión y acumulación, producto de las cuales se origina una morfología muy original y bien diferenciada (gran parte de la cual no puede ser observada sino hasta que se produce la desaparición de los propios cursos de hielo que la han generado) (Muñoz, 1995), conforme se puede observar en la parte alta y media de la subcuenca Shullcas, que evidencia la intensa actividad glaciaria del pasado.

Este documento presenta la caracterización de la geomorfología actual en la subcuenca Shullcas, localizada en la Provincia de Huancayo, Departamento de Junín. La actividad geodinámica a lo largo de la subcuenca es el resultado de los procesos de intemperismo, sismicidad, erosión, acumulación, entre otros, influenciados por la fuerte dinámica glaciaria en sus diferentes fases.

La dinámica glaciaria y peri-glaciaria se observa en la parte alta de la subcuenca del río Shullcas, y otros sectores, ya que, en el pasado, cuando el clima era más frío, los glaciares se extendieron en gran parte de la subcuenca, modelando su relieve. Los procesos gravitacionales, como deslizamientos, caídas y flujos de roca y detritos, son también fenómenos muy importantes en el modelado del relieve, así como los procesos erosivos o degradacionales que afectan gran parte de las laderas y montañas en la zona de estudio. Hacia las partes bajas de la cuenca, predominan los procesos acumulativos, como los grandes abanicos aluvionales, sobre los cuales, se emplaza la ciudad de Huancayo, la cual ha sido influenciada por la dinámica fluvial del río Mantaro.

A continuación, se describen las principales unidades geomorfológicas identificadas en la subcuenca del río Shullcas, las cuales se presentan en un mapa geomorfológico a escala de 1:25,000. Esta información es relevante para orientar estudios complementarios relacionados a la gestión de riesgos de desastres por ser la geomorfología un factor condicionante del peligro de aluvión; de otra parte, también es un insumo relevante en los estudios de conservación y protección de recursos naturales en zonas de montaña, ya que el estudio del relieve y sus características influyen en el desarrollo y estado del suelo, pastizales, y bofedales; y también en estudios hidroglaciológicos dado que los procesos de escurrimiento y drenaje se relacionan con las características del relieve.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca hidrográfica de Shullcas hace parte de la Cordillera Huaytapallana, y se ubica en la margen izquierda del río Mantaro (11°59'S – 75°06'O). El área de la subcuenca es de 251.82 km², siendo el drenaje y escurrimiento superficial proveniente de las precipitaciones, acuíferos y lagunas

Lazohuntay, Chuspi, Huacracocho, etc. que a su vez se originaron por el deshielo de los glaciares localizados en la vertiente occidental de la Cordillera Huaytapallana y de los paleo-glaciares emplazados en la parte media de la cuenca. Su gran actividad aluvional, formó una serie de abanicos hacia su confluencia con el río Mantaro, en donde actualmente se emplaza la ciudad de Huancayo (Figura 1).

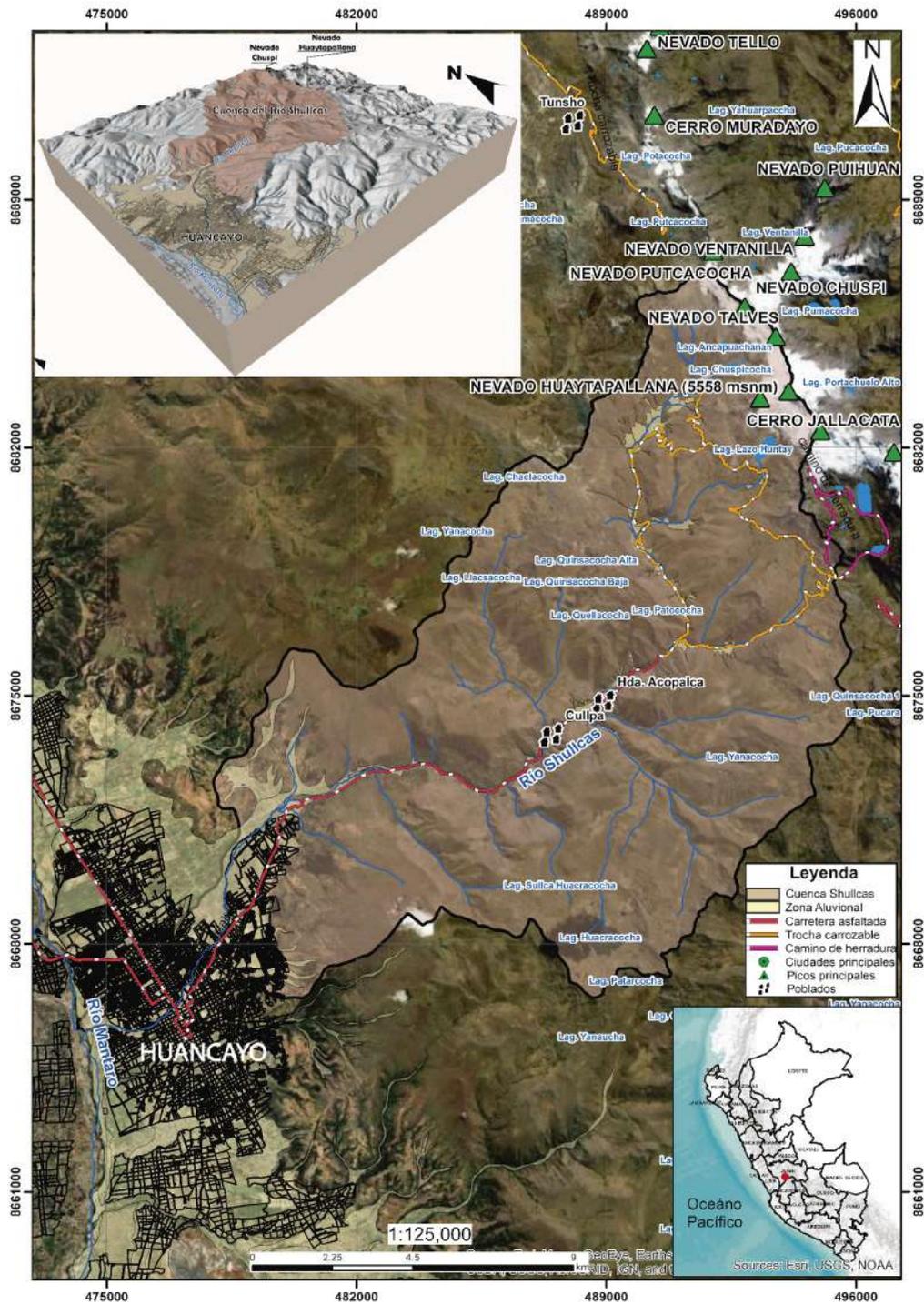
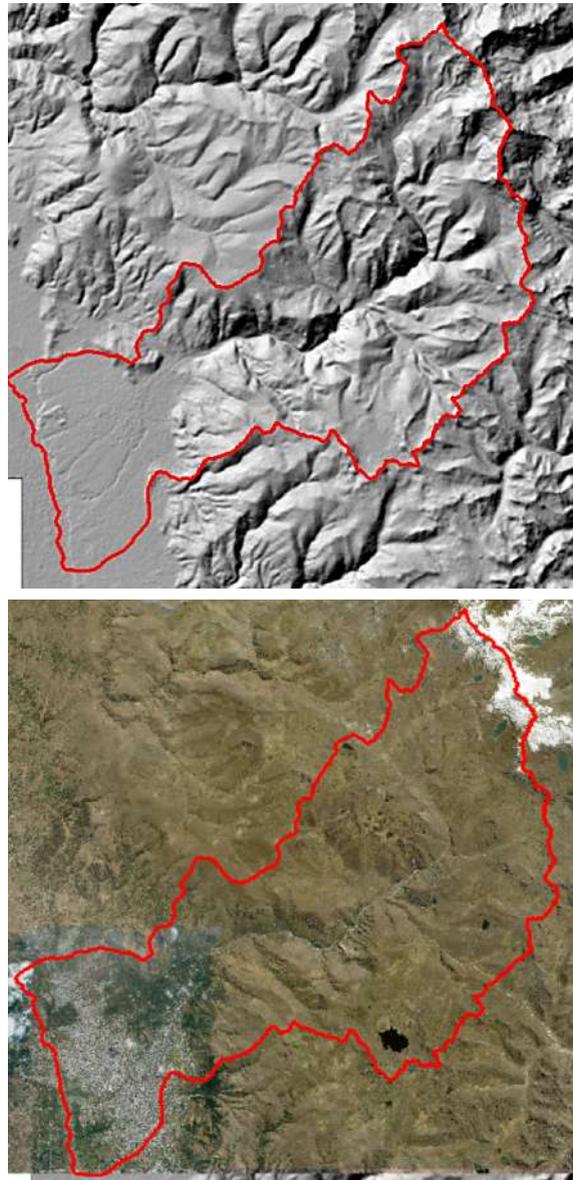


Figura 1: Mapa de ubicación de la subcuenca Shullcas.

3. METODOLOGÍA

La elaboración del Mapa Geomorfológico se realizó con la técnica convencional de fotointerpretación, utilizando primeramente una imagen de *Google Earth* con resolución de 5m, un modelo de elevación digital (DEM) *Alos Palsar* de 12.5 m (**Figuras 2 y 3**) y hacia la parte alta de la subcuenca, una imagen Satelital SPOT de 6 m, de donde se obtuvo DEM de la misma resolución.



Figuras 2 y 3: en línea roja se demarca el límite de la subcuenca Shullcas. A la izquierda se tiene el mapa de sombras, obtenido del DEM Alos Palsar de 12.5 m de resolución y a la derecha una imagen de Google Earth de 5m

Sobre esta base de información digital se reconocieron y cartografiaron las unidades geomorfológicas, tomando como base bibliográfica de referencia, diversos libros sobre Cartografía Geomorfológica y Geomorfología General (Peña, 1997; Trombotto, 2014; IGME, 2004; Muñoz, 1995; Gutiérrez Elorza, 2008) que han permitido definir la clasificación de las unidades geomorfológicas.

Complementariamente se realizó visitas de campo focalizadas al interior de la cuenca Río Blanco sobre todo en el área glacial y periglacial con el propósito de verificar la exactitud temática de la clasificación realizada en gabinete siendo cuatro sectores: Duraznillo, Chuspicocha, Lazohuntay, los cuales se distribuyen alrededor de los 4,300 a 5,000 msnm (**Figura 4**). En esta etapa, se obtuvieron imágenes aéreas mediante la tecnología RPAS en las áreas de inspección focalizada correspondientes a las áreas peri-glaciares de los sectores antes mencionados a fin de mejorar la precisión cartográfica (**Figura 5 y 6**).

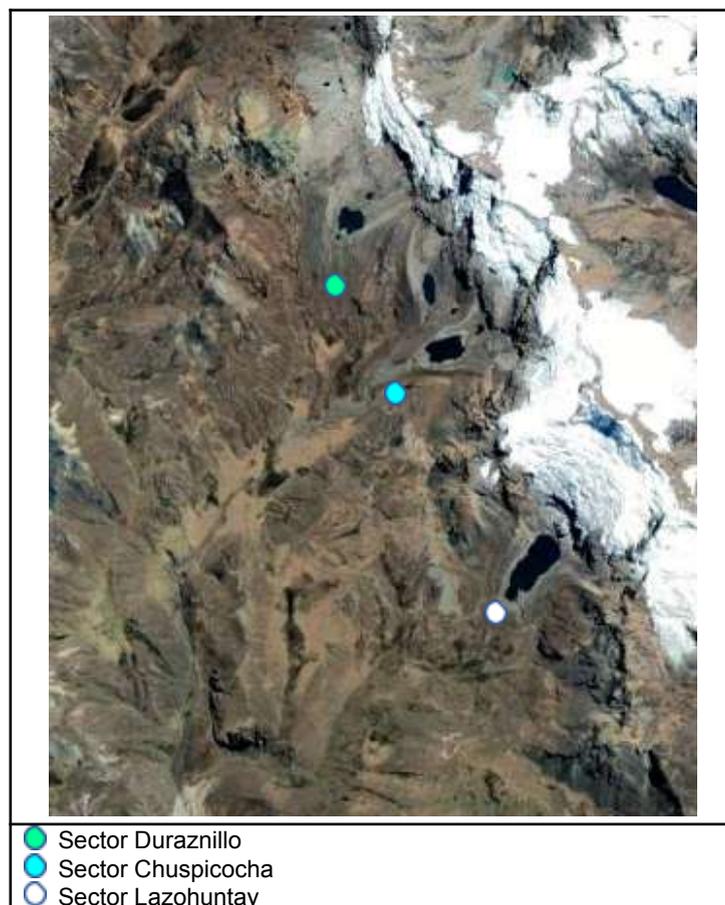
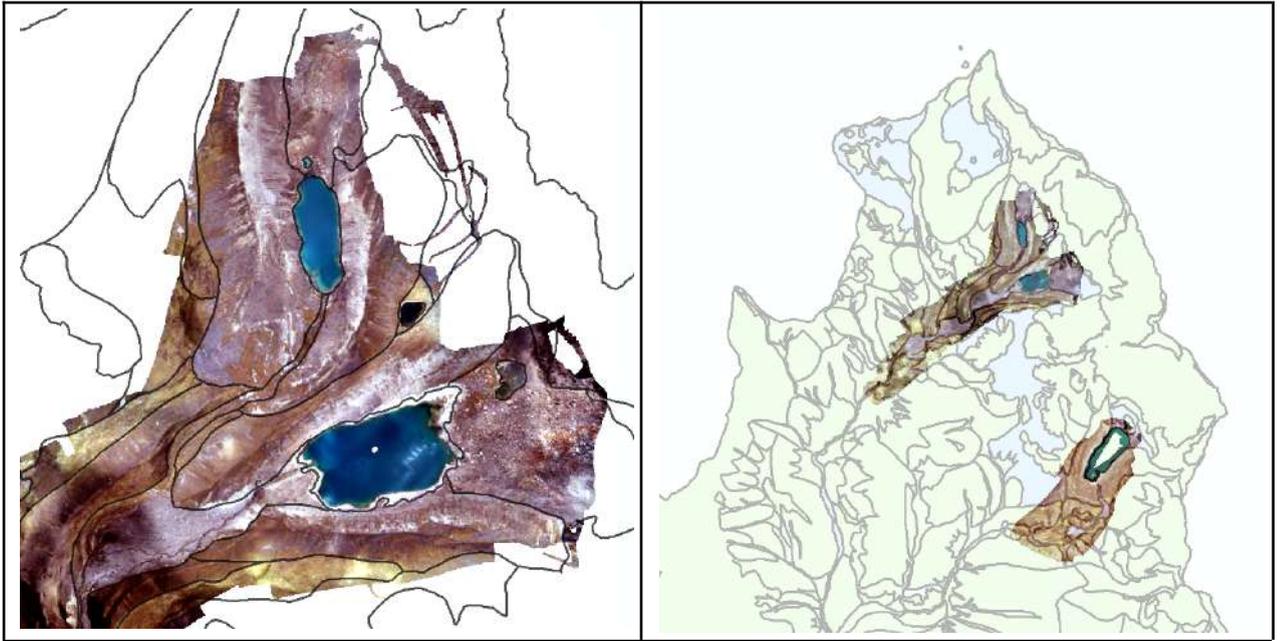


Figura 4. Sectores con verificación de campo en la subcuenca del río Shullcas



Figuras 5 y 6: A la izquierda las orthofotos obtenidas mediante la tecnología RPAS en el ámbito de la cuenca Shullcas, con resolución de 0.1 m. A la derecha actualización del mapa geomorfológico en la cabecera de cuenca.

4. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Se analiza y explica el origen de las distintas formas del relieve en la subcuenca Shullcas. Para ello, primeramente, se hace una evaluación macro de los accidentes geográficos y cambios abruptos del relieve, llegando a establecer 3 grandes zonas de análisis: 1) Una zona montañosa, en la parte alta de la cuenca, donde predominan los procesos acumulativos y erosivos resultantes de la dinámica glacial y peri-glacial actual y del pasado 2) Una zona colinosa intermedia, donde predominan los procesos denudativos que consecuentemente generan gran cantidad de movimientos de masa y 3) Una zona llana, en la parte baja de la cuenca, donde predominan los procesos acumulativos fluviales y aluvionales. En todas ellas, se originan procesos gravitacionales, es decir gran cantidad de movimientos en masa como caída de rocas y detritos, flujos de detritos y deslizamientos. Cada unidad geomorfológica, será explicada y descrita en esta sección.

Estas zonas, los procesos geomorfológicos y las unidades resultantes, son resumidas en el **Cuadro 1** y la **Figuras 7** muestran la distribución de estas unidades geomorfológicas en la subcuenca Shullcas, el mapa geomorfológico de la zona de trabajo se adjunta a este documento en una escala aproximada de 1:25000.

Cuadro 1. Unidades Geomorfológicas definidas

ZONA	PROCESOS	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	%
Montañosa	Glaciares y Peri-glaciares	Glaciares Morrenas Till Indiferenciado Llanuras de origen lacustre Superficies de Abrasión Superficies de Sobre-Excavación Laderas de Gelifractos Crestas Supra-Glaciares	41
Colinosa	Denudativos o Erosivos	Laderas Degradadas Superficies de Erosión	26
Llana	Aluvionales	Abanico Aluvional 1 Abanico Aluvional 2 Abanico Aluvional 3 Abanico Aluvional 4	21
	Fluviales	Terrazas Aluviales Terrazas Fluviales Barras Fluviales	1
Gravitacionales		Laderas Deslizadas Terrazas Aluvionales Conos de Deyección Conos Fluvio-Glaciares Conos Aluvionales Depósito de Detritos Depósito de Rocas y Detritos	11

4.1. MONTAÑAS

Es la zona comprendida entre los 3900 y 5500 m.s.n.m., con evidencias erosivas y acumulativas de actividad glaciaria y peri-glaciaria actual y pasada. Profundos valles glaciares y altas montañas configuran el paisaje dominante en esta zona.

En esta zona se diferencian los ambientes glaciares (relacionados íntimamente a la dinámica glaciaria actual y pasada) y los ambientes peri-glaciares (relacionados a los ciclos de congelamiento y descongelamiento) y, al interior de estas clases, se diferencia entre las formas acumulativas o sedimentarias y erosivas.

4.1.1. Ambiente Glaciario – Formas Acumulativas

a) Glaciares

Un glaciar es una masa de hielo que se forma por la acumulación de la nieve en regiones de altas latitudes y altitudes, con el paso del tiempo, los cristales de hielo que conforman la nieve se acumulan y compactan, perdiendo porosidad e incrementando su recristalización, la cual da origen al hielo glaciario, que es una densa masa que desciende por las laderas de las montañas impulsada por su propio peso, es decir su movimiento es principalmente gravitacional (**Foto 1**).

Este movimiento puede originar distintas estructuras internas y externas de deformación, como es la **estratificación glaciaria** marcada por la alternancia de capas de hielo invernal con otras que contienen lodo formados en el deshielo, **los pliegues o bandeamientos** que resultan de la variación de velocidad de desplazamiento del flujo que genera deformaciones plásticas, **las grietas o crevasses** que son las estructuras más abundantes de los glaciares y obedecen a esfuerzos tensionales (Menzies, 1995), **los seracs** que son sistemas de grietas entrecruzadas, **la rimaya** que es la grieta que separa el hielo del basamento rocoso en la cabecera del glaciar y las **fallas de gravedad y deslizamiento** que se desarrollan en zonas de gran pendiente debido a la relativa rigidez y al movimiento del flujo valle abajo.

En la subcuenca del río Shullcas, los glaciares representan apenas el 1.5% del área total. Se emplazan en las vertientes occidentales de los nevados Huaytapallana y Chuspi. Sus frentes glaciares son característicos desniveles abruptos (**Fotos 1 y 2**), originados por la sobre excavación glaciaria



Foto 1: Glaciares en la cabecera del valle Lazohuntay.



Foto 2: Frente glaciar en la cara suroccidental del nevado Huaytapallana, con abundantes estructuras de deformación.

b) Morrenas

Las morrenas son depósitos glaciáricos sedimentarios, constituidos por bloques de roca, detritos y sedimentos heterogéneos, que en conjunto configuran el *Till*, estas formas, se originaron por la dinámica glaciar en las laderas de las montañas y en los fondos de valle, estos registran la existencia de antiguos avances glaciares.

Las morrenas quedan después que un glaciar se ha retirado, y dan evidencia paleo-climática de su extensión pasada. Las morrenas pueden tener partes congeladas y existir en ambientes de permafrost. De existir en pendientes, pueden mostrar evidencia de reptación (Trombotto et al., 2014). Existen tres tipos de morrenas: las morrenas externas, internas y de fondo, conforme se describe a continuación (Muñoz, 1995).

- Las morrenas externas están compuestas, en su mayor parte, por fragmentos procedentes de la dinámica de vertientes, que quedan por encima de la superficie externa de los circos y las lenguas. Esta carga, se acumula en los márgenes de la lengua, constituyendo así, las morrenas laterales, que son acumulaciones lineales pegadas a las laderas de valles y se caracterizan por la facilidad con que son desmanteladas por los procesos de dinámica de vertiente. Se identifican arcos morrénicos frontales se localizan en la terminación o el frente glaciar, suelen tener una forma semicircular o en «arco». Estas formas, así como los cordones laterales constan de una vertiente interna relativamente escarpada y una externa de pendiente más suave.

En la zona de estudio, se observan gran cantidad de morrenas externas a todo lo largo de los valles Anlayaco y Chuspi (**Foto 3**) y también en grandes áreas que actualmente ya no conservan masas de hielo, como por ejemplo los cerros Musca, Chacuas y Huaritanga, ubicados en la parte media de la cuenca. Estas morrenas se emplazaron en distintas zonas de cada valle, según las distintas glaciaciones experimentadas en el pasado.



Foto 3: Dos distintas fases glaciares, registradas por cordones morrénicos en el valle Chuspi.

Se observa que no es un sólo arco morrénico, sino varios que pueden estar más o menos separados entre sí, y formar surcos intramorrénicos, que a veces acogen lagunas o turberas (Foto 4 y 5).



Foto 4: Fluctuaciones glaciares, próximas a la laguna Lazohuntay.



Foto 5: Surcos intramorrénicos cercanos a la laguna Lazohuntay.

La confluencia de dos lenguas genera la unión de la carga lateral de ambas dando lugar a la aparición de una franja detrítica en el interior de la corriente de hielo a la que se da el nombre de morrena media.

- Las morrenas internas están compuestas por los materiales detríticos que son transportados dentro de la masa de hielo en movimiento. En su mayor parte dichos materiales son de procedencia externa y han sido recibidos por el glaciar en su área de alimentación, donde se han visto recubiertos por capas de nieve, quedando asimilados en los volúmenes helados.
- Las morrenas de fondo, por su parte, comprenden la carga sólida que los glaciares arrastran en su base, es decir en el contacto del flujo de hielo con el fondo de su lecho.

Las morrenas internas y de fondo, quedan expuestas luego del derretimiento de los glaciares y configuran un paisaje sumamente complejo.

De acuerdo a la clasificación cronológica relativa de todas las morrenas cartografiadas en la subcuenca Shullcas al menos cinco generaciones de morrenas, estos avances fueron relacionados a dataciones cosmogénicas realizadas en la Cordillera Blanca (Ancash) (**Úbeda et al., 2018**), ya que la disposición del emplazamiento de estos depósitos coincide geomorfológicamente con los observados en el valle Shullcas (Junín). A continuación, se describen los principales hallazgos:

- El grupo más antiguo (morrenas M1), indican avances glaciares anteriores a la excavación de los valles Anlayaco y Chuspi y que

debieron suceder hace ~80 ka. Estas, se encuentran sobre todo en la loma y la pampa Doblecoto. Las morrenas M2, son coherentes con un LGM (*Last Glacial Máximum*) temprano ~32-24 ka, que ha sido propuesto en diversos trabajos para los Andes Centrales (Shakun et al., 2015; Smith et al., 2005) y otras montañas del mundo (Clark et al., 2009; Hughes et al., 2013). Se encuentran en la salida de los valles Anlayaco y Chuspi (**Foto 6**) y en las partes más bajas de los valles que bajan de los cerros los cerros Musca, Chacuas y Huaritanga.

- Las morrenas M3, tienen edades ~20-12 ka, engloban el evento boreal frío H1 y la gran transgresión Tauca, que generó un paleo-lago de 52.000 km² y 120 m de profundidad en el centro de la cuenca de Uyuni (Blard et al., 2009; Blard et al., 2011). El grupo de morrenas M4 (~14-8 ka), comprende el enfriamiento boreal durante el YD (*Younger Dryas*), la transgresión Coipasa y la mayor abundancia de los últimos 30 ka de plancton de agua dulce en el lago Titicaca (Fritz et al., 2007).
- Finalmente, las morrenas M1, (~0.4 ka), emplazadas muy cerca al frente glaciar actual (**Foto 7**), sugieren el avance de la PEH (Pequeña Edad de Hielo), que fue el último periodo frío globalmente reconocido. En los Andes Centrales, este periodo tuvo lugar entre los años ~1500 y 1850-1890, según indican los isótopos de oxígeno en testigos de hielo del glaciar Quelcaya (Thompson et al., 1986) y dataciones cosmogénicas ¹⁰Be en la cordillera Vilcabamba (Licciardi, 2009).



Foto 6: Emplazamiento de morrenas M2n en la salida del valle Anlayaco.



Foto 7: Secuencias morrénicas en el valle Anlayaco.

c) Till Indiferenciado

El término *till* es la carga glaciaria cuando aún está siendo transportada o cuando su deposición ha sido relativamente reciente y se mantienen sus características originarias y la palabra *tillita* para referirse a dicha carga cuando muestran ya algún grado de diagénesis (Muñoz, 1995).

En casi toda la zona montañosa del área de estudio, existen grandes áreas cubiertas por depósitos glaciáricos, que no se pueden relacionar a los avances antes mencionados, ya que su distribución y emplazamiento es muy complejo, por lo que se vio la necesidad de cartografiarlos de manera particular como Till indiferenciado.

d) Llanuras de origen lacustre

Estas geoformas, son planicies originadas por el desagüe de lagunas de origen glaciario, las cuales a su vez se originaron por el derretimiento de hielo durante el retroceso de los glaciares. Son ecosistemas semi-acuáticos cenagosos, caracterizados por presentar una acumulación de materia orgánica y material resultante de procesos sedimentarios en aguas estancadas y lagunas (Göttlich, 1990 en Trombotto et al., 2014).

En los valles glaciares y peri-glaciares, se encuentran humedales denominados vegas o mallines, que representan también ecosistemas similares a las turberas. Los mallines pueden encontrarse cercanos a los glaciares o en ambientes de tundra andina con condiciones criogénicas (con hielo) o de congelamiento invernal similares a las turberas (Trombotto et al., 2014).

Estas geoformas, por lo general se encuentran dispuestas en cubetas escalonadas a lo largo de un valle glaciar. En los valles de Chuspi y Anlayaco se las puede observar masivamente (**Foto 8**). Cerca de la laguna Huacracocho se puede observar grandes llanuras, que evidencian las antiguas dimensiones de esta laguna. Sobre el cerro Musca, también se observan un conjunto de varios de estos depósitos que evidencian la gran cantidad de la paleo-lagunas existentes.



Foto 8: Llanuras de origen lacustre en la parte alta del valle Chuspi.

4.1.2. Ambiente Glaciar - Formas Erosivas

a) Superficies de Abrasión

La abrasión glaciar es la acción de desgaste o pulido realizada por el paso del hielo sobre su base rocosa; aunque puede ser efectuada directamente por la masa glaciar, sólo alcanza verdadera trascendencia cuando ésta va cargada en su fondo de partículas sólidas previamente accionadas por el propio flujo helado o recibida por éste desde el exterior. Como consecuencia de ella tanto el fondo como los márgenes (si existen) del lecho de los glaciares resultan significativamente pulidos, adquiriendo una superficie externa limpia y lisa con perfiles suavemente convexos (roca aborregada), sobre la que el paso de fragmentos o bloques particularmente duros puede haber marcado «estrías» de anchura milimétrica o abierto acanaladuras de varios decímetros de amplitud y profundidad, cuya capacidad para la excavación e incisión es prácticamente nula (Muñoz, 1995).

En las zonas de estudio, se observa gran parte de los afloramientos rocosos cercanos a los glaciares actuales con texturas aborregadas (**Foto 9**), es decir, presentan superficies con huellas de abrasión glaciar. El Cerro Musca, muestra

una gran área de superficies con abrasión glaciar y que delimita la antigua expansión de los glaciares en esta zona.



Foto 9: Superficies de abrasión glaciar (Rocas con textura aborregada) al sur del nevado Huaytapallana.

b) Superficies de Sobre - excavación

La sobre-excavación, por su parte, es la acción de movilización y desalojo de fragmentos de medio o gran calibre que las corrientes glaciares realizan sobre su lecho, tendiendo a profundizarlo en la medida que la naturaleza y el estado del afloramiento y los caracteres del flujo lo permitan. Este proceso, a diferencia de la acción erosiva fluvial, no tiende a atenuar las irregularidades del perfil longitudinal de los lechos ni a anular las rupturas de pendiente que en él pueden existir; su actividad, por el contrario, lleva a un incremento del vigor de los accidentes y a una creciente puesta en relieve de las diferencias de resistencia del material afectado. (Muñoz, 1995).

En los sectores donde la mayor delezabilidad (estructural o adquirida) de dicho material, se hace posible un mayor y más eficaz desalojo de fragmentos, generando profundas cubetas, mientras que en los sectores donde la masividad de los afloramientos dificulta la movilización de clastos o bloques su labor es mínima, haciendo que dichos sectores adquieran el carácter de umbrales o cerrojos entre las citadas cubetas. Esta organización topográfica en cubetas escalonadas, cerradas por resaltes rocosos (que tras la retirada de los hielos suelen acoger conjuntos de lagos, lagunas o turberas) se ha utilizado como criterio para determinar el límite del glaciario en las fases frías del Pleistoceno (Muñoz, 1995).

En la zona de estudio, se observan muy pocas áreas de sobre excavación. Esto debido a la poca resistencia de afloramientos de rocas metamórficas como gneises y esquistos hacia la parte alta y series sedimentarias hacia la

parte media de la cuenca, que son más susceptibles a la erosión glacial y generan relieves poco abruptos (**Foto 10**).



Foto 10: Vista panorámica del valle Anlayaco, que hacia la parte más baja (confluencia con el río Chuspi), muestra algunas zonas con sobre excavación glacial.

4.1.3. Ambiente Peri-glaciar – Formas Acumulativas

a) Laderas de Gelifractos

El proceso de “gelifracción”, consiste en la desintegración mecánica de la roca como resultado de la presión del agua congelada en los poros y fracturas. La gelifracción puede ser el proceso erosivo dominante en regiones de alta montaña, particularmente en áreas con ciclos frecuentes de congelamiento y descongelamiento, y de tipos de rocas frágiles o previamente fracturadas (Trombotto et al., 2014). A medida que la roca se fragmenta, los escombros caen por las laderas por acción de la gravedad y se acumulan en zonas de menor pendiente, forman de esta manera las laderas, vertientes o taludes de gelifractos o depósitos de detritos.

Estos depósitos se observan ampliamente en la parte alta del valle Shullcas y en las paredes de los valles Chuspi, Anlayaco y Ronda.

4.1.4. Ambiente Peri-glaciar - Formas Erosivas

a) Crestas Supra-Glaciares

Constituidas por los picos y crestas montañosas más elevadas (Horns y relictos de antiguos Nunataks) afectadas por los procesos de congelamiento y deshielo (no por procesos glaciares). Debido a la naturaleza de los macizos rocosos, pueden ser menor o mayormente susceptibles a su erosión y su fragmentación (**Foto 11**). Dependiendo del tipo de roca, este fenómeno deja las crestas montañosas a manera de pináculos dentados.

En la cabecera del Valle Shullcas se observan pequeñas áreas afectadas por este fenómeno, que puede estar controlado también por el tipo de roca (Gneises y esquistos).

4.2. LOMADAS Y COLINAS

Corresponde a la zona intermedia de la subcuenca Shullcas, comprendida aproximadamente entre los 3320 y 4570 m.s.n.m. presenta fundamentalmente dos tipos de relieves claramente diferenciables.

4.2.1. Laderas Degradadas

Es la unidad más extensa en la parte media de la subcuenca Shullcas se observa en la parte alta de los cerros San Cristobal y Sayhua en ambos márgenes del valle Shullcas.

Corresponde a superficies onduladas, sin grandes accidentes geográficos que provoquen desniveles abruptos, presentan sobre todo una erosión superficial afectada sobre todo por la escorrentía superficial la cual ha configurado un sistema denso de drenajes dendríticos con escarpes de erosión.

4.2.2. Superficies de Erosión

Por su parte, las superficies de erosión, son desniveles topográficos marcados por una intensa erosión fluvial y fluvio-glaciaria. Esta unidad corresponde, sobre todo a las paredes internas del valle del río Shullcas que son afectadas permanentemente por la dinámica de laderas, además de los fenómenos geodinámicos, como caídas de roca y detritos, flujos detríticos y deslizamientos, configuran relieves sumamente escarpados.

4.3. ABANICOS ALUVIÓNICOS

4.3.1. Abanicos Aluvionales 1, 2, 3 y 4

La parte baja de la subcuenca del río Shullcas, presenta un relieve dominante llano o de baja pendiente, son depósitos sedimentarios originados por el emplazamiento de sucesivos aluviones. Estos grandes flujos detríticos se originaron por la intensa actividad glaciaria del pasado, conforme se vio en el apartado de montañas, gran parte de la cuenca estaba cubierta por glaciares, debido a los cambios en el clima experimentados a lo largo del tiempo.

Otro factor influyente en el emplazamiento de estas grandes masas aluviónicas, es la falla geológica de Huaytapallana, una falla normal activa, desarrollada de manera paralela a la cordillera Huaytapallana en sus vertientes occidentales. Esta estructura geológica, tuvo que haber influenciado de gran

manera la ocurrencia de grandes aluviones en el pasado, sobre todo cuando las masas de hielo colmataban los valles de Chuspi, Anlayaco y Huishna.

Es entonces, sumamente importante estudiar la relación entre la dinámica glaciaria y tectónica para comprender las formas del relieve.

A través de un análisis visual de modelos de elevación digital y topografía de cada 5m (**Figura 8**), se identificaron al menos, cuatro eventos aluviónicos en la parte baja de la subcuenca Shullcas.

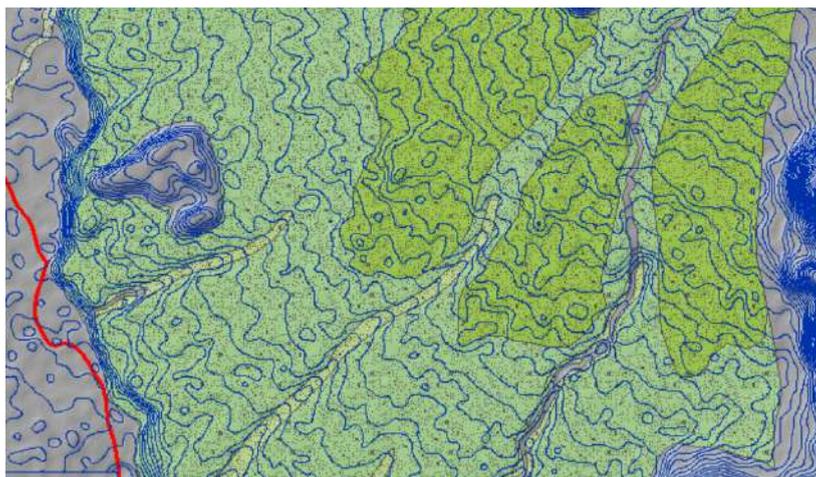


Figura 8: Análisis visual, para la determinación de terrazas o abanicos aluvionales en la parte baja de la subcuenca Shullcas.

El más antiguo (Abanico Aluvional 1), se ubica en la parte más alta y corresponde a relieves relativamente más altos (en algunos lugares entre 5 a 10m por encima del Abanico Aluvional 2, el cual es el más extenso y comprende casi la totalidad del substrato sobre el cual se emplaza la ciudad de Huancayo y en su límite inferior, es decir, en el contacto con depósitos fluviales del río Mantaro, tiene desniveles de entre 30 y 50m.

En ambos casos, están constituidas por fragmentos y bloques de rocas sub-redondeados y sub-angulosos, envueltos en una matriz limo-arenosa, dispuestos a manera de grandes terrazas que se depositaron en distintos periodos de tiempo y bajo condiciones climáticas y geomorfológicas variables. Los Abanicos Aluvionales 3 y 4, son las terrazas más recientes, más bajas y más susceptibles a ser impactadas por aluviones e inundaciones durante periodos de crecida del río Shullcas.

4.4. FONDO DE VALLE (RÍO MANTARO)

Este conjunto de geoformas, están relacionadas a la continua e intensa dinámica del río Mantaro. Se han identificado tres unidades geomorfológicas, que se describirán a continuación (**Figura 9**).

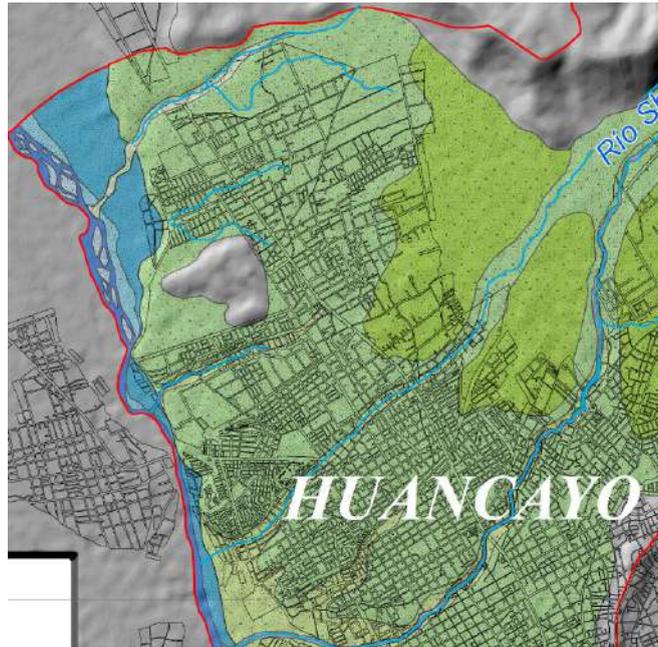


Figura 9: Unidades Aluvionales, Aluviales y Fluviales en la subcuenca Shullcas.

4.4.1. Terrazas Aluviales

Son depósitos sedimentarios, emplazados en ambas márgenes del río Mantaro, tienen una pendiente aproximada que va de 0 a 5° y están constituidas por bloques y fragmentos de roca redondeados a sub-redondeados envueltos en una matriz arenosa, esto debido al transporte, desgaste y pulimiento producido por la corriente fluvial. Estos bancos, se originaron durante intensos periodos de crecida fluvial, en condiciones climáticas muy distintas a las actuales y con marcadas migraciones del cauce fluvial.

4.4.2. Terrazas y Barras Fluviales

Corresponde a plataformas más bajas que las terrazas aluviales. Son las zonas más susceptibles a ser inundadas en periodos de recurrencia relativamente cortos. Están constituidas por arenas y en determinados sectores forman playas e islotes elongados denominados Barras fluviales, que se forman durante periodos anuales de crecida fluvial.

4.5. FORMAS GRAVITACIONALES

Son unidades geomorfológicas sumamente importantes, ya que su identificación, clasificación e interpretación nos permitirá abordar el siguiente apartado sobre la Identificación de los Peligros Geológicos. En esta sección se presenta una breve descripción geomorfológica de estos fenómenos.

4.5.1. Laderas Deslizadas

Esta unidad, está relacionada a los deslizamientos antiguos de tipo rotacional de grandes dimensiones. En la subcuenca Shullcas, se observaron al menos ocho de estos fenómenos, los principales se desarrollan en la parte media de la subcuenca, uno de ellos de casi 1km de ancho de escarpe principal a la margen derecha del río Shullcas, parece estar activo, ya que muestra evidencias de deformación en la masa deslizada (**Figura 10**), y otro, también de grandes dimensiones ubicado en la margen izquierda del río Shullcas, aparente se encuentra inactivo y relativamente estable (**Figura 11**).



Figura 10: Deslizamiento aparentemente activo, en la margen derecha del río Shullcas. La línea discontinua superior, señala el escarpe principal y las líneas punteadas, escarpes secundarios, las flechas indican evidencias de deformación superficial.



Figura 11: Deslizamiento antiguo, aparentemente inactivo, en la margen izquierda del río Shullcas

4.5.2. Terrazas Aluvionales

Son depósitos sedimentarios, emplazados en el fondo del valle Shullcas, a manera de terrazas llanas principalmente en la parte media de la subcuenca. Y son el resultado de remanentes aluviónicos emparentados directamente con los abanicos de la parte baja de la subcuenca. Estas terrazas están constituidas por gravas y bloques envueltos en una matriz limo arcillosa. En algunos casos, se pudieron haber formado por represamientos temporales del valle.

4.5.3. Conos de Deyección

Son los depósitos de caídas de rocas y detritos, similares en forma y emplazamiento a los conos formados por gelifracción, pero a diferencia de estos fenómenos, cuyos detonantes son fundamentalmente los procesos de congelamiento y descongelamiento, el origen de estas geoformas, está relacionado principalmente a factores gravitatorios, detonados por sismos o precipitaciones pluviales intensas.

4.5.4. Conos Fluvio-Glaciares

Son los depósitos sedimentarios provenientes del derretimiento de los glaciares actuales y del pasado a través de su escorrentía superficial y también de desembalses violentos. En la zona de trabajo, se emplazan a todo lo largo del río Shullcas y de sus principales tributarios, que provienen de zonas que

estaban ocupadas por masas de hielo, pero que actualmente, solo se observan evidencias geomorfológicas de su antigua ocupación y desembalse.

4.5.5. Conos Aluvionales

Son los flujos de detritos que no están relacionados a la dinámica glaciaria, más bien se originan por sobresaturación de los suelos, deslizamientos convertidos en flujos y otros movimientos en masa complejos. Se ubican a todo lo largo de la subcuenca Shullcas y tienen recorridos variables

5. CONCLUSIONES

- La subcuenca de Shullcas, presenta tres unidades geomorfológicas claramente diferenciadas: 1) Una zona montañosa, en la parte alta de la cuenca, donde predominan los procesos acumulativos y erosivos resultantes de la dinámica glaciaria y peri-glaciaria que viene a representar el 41% del área de la subcuenca, 2) Una zona colinosa intermedia, donde predominan los procesos denudativos que consecuentemente generan gran cantidad de movimientos de masa en aproximadamente el 26 del territorio de la subcuenca, 3) Una zona llana, en la parte baja de la subcuenca, donde predominan los procesos acumulativos fluviales y aluvionales que se observan en aproximadamente el 22% de su territorio.
- A todo lo largo del valle Shullcas se observan procesos gravitacionales, es decir gran cantidad de movimientos en masa activos e inactivos, como caída de rocas y detritos, flujos de detritos y deslizamientos. Los deslizamientos de grandes dimensiones identificados en las márgenes del río Shullcas, pueden ser reactivados por el socavamiento lateral (fluvial y aluvional) de su base y otros procesos erosivos superficiales.
- Las morrenas externas en la zona de montañas, son excelentes geo-indicadores de la antigua expansión de los glaciares y por consiguiente de los cambios climáticos experimentados en la cordillera Huaytapallana. Por este motivo, se realizó una clasificación cronológica visual de estas unidades, deducidas de su posición geomorfológica y de la comparación con otras morrenas que si fueron datadas en los Andes Centrales.
- Desde el punto de vista de Peligros geológicos, las caras internas de las morrenas laterales M5 (es decir morrenas formadas durante la Pequeña Edad de Hielo), son las más susceptibles a colapsar y formar derrumbes que pueden llegar a las lagunas y generar oleajes peligrosos.
- Existen muchos depósitos glaciáricos, que no fueron emparentados con ninguno de los grupos de morrenas (M1, M2, M3, M4 o M5), estos depósitos, fueron desmantelados por la erosión y no guardan una coherencia geomorfológica. Por este motivo, se les denominó como Till Indiferenciado.

- Existen grandes áreas rocosas con evidencias de abrasión glaciaria, este rasgo es sumamente importante, para reconstruir la antigua expansión de los glaciares.
- Las vertientes de gelifractos, pueden ser denominados en geología convencional, como depósitos coluviales, sin embargo, su origen está relacionado a los ciclos de congelamiento y deshielo que se presentan en las partes más altas de las montañas. Es por ello, que en este trabajo diferenciamos estos depósitos de los que ocurrieron por desencadenamiento sísmico o pluvial.
- Las características geológicas de la zona (por un lado, los diversos tipos de roca y, por otro lado, las distintas estructuras geológicas, como la falla activa de Huaytapallana), condicionaron la forma del relieve actual en la subcuenca Shullcas.
- La ciudad de Huancayo, se emplaza sobre una sucesión de abanicos aluvionales antiguos en la parte más baja de la subcuenca Shullcas, donde se identificaron al menos 4 eventos importantes. El aluvión ocurrido en diciembre del año 1990, se originó por un desbordamiento y rebalse en la laguna Chuspicocha. Así lo demuestran las evidencias geomorfológicas.

6. RECOMENDACIONES

- Este documento fue realizado usando técnicas de fotointerpretación satelital, fotografías de campo, imágenes RPAS y visitas de campo focalizadas en los sectores Duraznillo, Chuspicocha, Lazohuntay de la cabecera de cuenca, por lo que se requiere una inspección detallada de campo, que permita corroborar la cartografía geomorfológica en otros sectores de la cuenca.
- Los modelos de elevación digital, Alos Palsar de 12.5m de resolución facilitó el desarrollo del trabajo a escala 1:25000, igualmente las imágenes RPAS han facilitado la actualización del DEM a mejor resolución, aspecto que se requiere ampliar a otros sectores de la cuenca.
- Se recomienda elaborar una guía terminológica para la denominación de geoformas en ámbitos glaciares y peri-glaciares. En nuestro país, cuenta con términos estandarizados para el estudio de las geoformas en zonas de alta montaña.
- Socializar la información con la población y sobre todo con las autoridades locales y regionales, quienes deben implementar las políticas, ordenanzas u otras medidas de ordenamiento territorial, conservación y gestión de cuencas, así como de gestión de riesgos de desastres.

- Implementar estudios de geomorfología a detalle como insumo para la evaluación del peligro de aluvión, modelamiento hidrogliaciológico en la Cordillera Huaytapallana, así como estudios de dendrocronología, donde la geomorfología es un parámetro ambiental crítico.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Blard, P.-H.; Lavé, J.; Farley, K.A.; Fornari, M.; Jiménez, N.; Ramirez, V., 2009. Late local glacial maximum in the Central Altiplano triggered by cold and locally-wet conditions during the paleolake Tauca episode (17–15 ka, Heinrich 1). *Quat. Sci. Rev.* 2009, 28, 3414–3427.
- Blard, P.-H.; Sylvestre, F.; Tripathi, A.K.; Claude, C.; Causse, C.; Coudraing, A.; Condom, T.; Seidel, J.-L.; Vimeux, F.; Moreau, C.; et al., 2011. Lake highstands on the Altiplano (Tropical Andes) contemporaneous with Heinrich 1 and the Younger Dryas: New insights from 14C, U-Th dating and $\delta^{18}O$ of carbonates. *Quat. Sci. Rev.* 2011, 30, 3973–3989.
- Clark, P. U., Dyke, A. S., Shakun, J. D., Carlson, A. E., Clark, J. F., Wohlfarth, B., Mitrovica, J. X., Hostetler, S. W., Mc Cabe, A. M., 2009, The Last Glacial Maximum: *Science*, v. 325, p. 710-714.
- Concha, R. (2015). Evaluación geológica y geodinámica del deslizamiento de Tarabamba (Ancash). Informe técnico N° A6698 INGEMMET, 32 p.
- Fritz, S. C., Baker, P. A., Seltzer, G. O., Ballantyne, A., Tapia, P., Cheng, H., Edwards, R. L., 2007, Lake Titicaca 370KYr LT01-2B Sediment Database, Lake Titicaca 370KYr LT01-2B Sediment Data. IGBP PAGES/World Data Center-A for Paleoclimatology Data Contribution Series # 92-008. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program. Boulder (EEUU).
- Gutiérrez Elorza M. 2008. Geomorfología. Universidad de Zaragoza. 920 p.
- Licciardi, J. M., Schaefer, J. M., Taggart, J. R., and Lund, C. D., 2009, Holocene glacier fluctuations in the Peruvian Andes indicate northern climate linkages: *Science*, v. 325, p. 1677–1679.
- Martín-Serrano A., Salazar A., Norzal F., & Suarez A. 2004. Mapa geomorfológico de España. Escala 1:50000, Guía para su Elaboración. Instituto Geológico y Minero de España. 128 p.
- Maza R., 1992. Tesis de ingeniería. Estudio Geológico y Glaciológico del nevado Huaytapallana y su incidencia en las lagunas cuenca del río Shullaca, Huancayo.
- Muñoz J. 1995. Geomorfología General. 346 p.
- Peña J., Pellicer F., Chueca J., Julián A. 1997. Leyenda para mapas geomorfológicos a escala 1:50000 y 1:25000. Universidad de Zaragoza.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007. movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. 432 p.
- Shakun, J. D., Clark, P. U., Marcott, S. A., Brook, E. J., Lifton, N. A., Caffee, M., Shakun, W. R., 2015, Cosmogenic dating of Late Pleistocene glaciation, southern tropical Andes, Peru: *Journal of Quaternary Science*, v. 30, p. 841-847.

- Smith, J. A., Seltzer, G. O., Farber, D. L., Rodbell, D. T., Finkel, R. C., 2005b, Early Local Last Glacial Maximum in the Tropical Andes: *Science*, v. 308 (5722), p. 678-681. Hughes et al., 2013.
- Thompson, L. G., Mosley-Thompson, E. E., Dansgaard, W., and Grootes, P. M., 1986, The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap: *Science*, v. 234, p. 361-364.
- Trombotto D., Wainstein P., Arenson L., 2014. Guía terminológica de la geocriología sudamericana. 129 p.
- Úbeda, J.; Vásquez, E.; Concha, R.; Masías, P., Bustamante, M.; et al., (2018). Evidencias de la Tele-conexión enfriamiento boreal/glaciares tropicales al suroeste del nevado Hualcán (Cordillera Blanca, Perú). En: XIX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Lima.