

Contribución a la geomorfología de la microcuenca Pastoruri-Cordillera Blanca

David Durand Castro

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

<ddurandc@unmsm.edu.pe>

En el presente trabajo se desarrolla un estudio geomorfológico de la microcuenca Pastoruri. El estudio comprende tanto la configuración del relieve identificando las formas de relieve como sus características más importantes; asimismo, el estudio incluye un examen de los aspectos más relevantes de los procesos morfogenéticos y morfodinámicos que actúan en el modelado de la microcuenca Pastoruri.

El modelado del relieve en el área de estudio y la dinámica de los procesos morfogenéticos del mismo, se explican principalmente por el trabajo conjunto e integrado de acciones glaciares y periglaciares de un lado y tectónicas y estructurales de otro, esta es la razón por la que haremos en adelante un examen más detallado partiendo de estos componentes principales.

Estos componentes principales resumidos en el rol del clima y el papel del sustrato rocoso, los mismos que interactúan en el tiempo en un conjunto complejo y particular de acciones morfogenéticas concurrendo en un escenario bajo condiciones de clima Frío y Templado Frío de Montaña Tropical actuando sobre estratificaciones sedimentarias y volcánicas mesozoicas de naturaleza mineralógica variada, por tanto, de susceptibilidad a los factores y agentes morfodinámicos igualmente variados.

Bajo estas condiciones, teniendo en cuenta que los glaciares constituyen una reserva neta de agua que tiene la alta montaña, lo que es muy importante como parte de lo que constituye las fuentes de agua que tienen por función mantener la regularidad con el aporte

de los demás tributarios en especial de la margen derecha del caudal del río Santa, vital para el mantenimiento de la vida económica de la región, ya que gracias a las aguas del río Santa funcionan la Central Hidroeléctrica de Cañón del Pato, los Proyectos Chavimochic y Chincas entre los principales, la misma que depende en buena parte de las condiciones climáticas.

El análisis de los procesos geomorfológicos glaciares y periglaciares resultan relevantes no solo por ser predominantes en el modelado del relieve del área, sino también porque además introducen en el medio complejas formas de relieve, las cuales sintetizan al mismo tiempo las acciones de una gama de variables dando como resultado procesos morfogenéticos y morfodinámicos complejos.

Una muestra de lo dicho es, por ejemplo, el proceso de la ablación, proceso entendido en su sentido estricto como la disminución del volumen glaciar (a la postre retroceso) por sublimación, evaporación y fusión. La ablación es función entonces del calor, expresado mediante la temperatura, que depende al mismo tiempo de la intensidad de la radiación solar, de la cantidad de horas de iluminación, del ángulo de incidencia de la insolación, del ángulo de inclinación de la superficie expuesta, de la estación, de la humedad relativa del aire, nubosidad, de la intensidad y dirección frecuente de los vientos, etc.; la ablación, por otro lado, depende también de la alimentación aportada por las precipitaciones, pendiente, forma, tamaño y exposición de la cuenca de recepción, lo que se conoce como balance de masa glaciar.

Cabe mencionar que el presente trabajo ha sido ampliado respecto del que fue presentado y sustentado por el suscrito en el Congreso del Hombre y la Cultura organizado por la Facultad de Ciencias Sociales de la UNMSM, así como también, respecto del artículo que fue publicado por la revista *Investigaciones Sociales* 23 de la Facultad de Ciencias Sociales de la UNMSM en colaboración con el profesor Geog. Fabriciano La Torre Ruiz, el Ing. Geog. Carmen Villón Reinoso y el Lic. Fis. José Pasapera Gonzales de la CONIDA, para quienes va mi reconocimiento.

Generalidades

Localización

El área objeto del presente estudio se halla ubicado en la cabecera y margen izquierda de la quebrada del río Pachacoto, tributario por la margen derecha del río Santa en el paraje del mismo nombre, aguas arriba del centro poblado de Cátac, se encuentra en el sector meridional de la cordillera Blanca, en el distrito de Cátac, provincia de Recuay y departamento de Ancash.

Accesibilidad

El ingreso al área de estudio se realiza por carretera afirmada que parte desde el desvío aguas arriba del centro poblado de Cátac en la carretera Huaraz-Pativilca en el lugar denominado Pachacoto.

Características generales del relieve

El rol del clima

Consideraciones generales

En el mundo de las ciencias de la naturaleza la mayoría de científicos está de acuerdo con el rol que desempeña el clima como factor de mayor jerarquía de los que participan en los procesos naturales sobre la superficie terrestre, y no puede ser una excepción el área del presente estudio.

En especial es de gran importancia tener en cuenta unidades taxonómicas de paisaje que se pueden reducir a geofacies o geotopo y sus correlaciones climáticas microclima y topoclima.

En particular en terrenos sumamente accidentados como es el caso, el balance térmico puede ser modificado debido a las diferencias del ángulo de incidencia de la radiación solar. En regiones montañosas la radiación solar directa puede ser modificada por la posición par-

ticular de la microcuenca o ser interrumpida debido al efecto de las nubes que sombrean ciertas partes aleatorias, en cuyo caso solamente la radiación difusa en el cielo es efectiva.

Las aguas corrientes en las superficies accidentadas y también en las cercanías de la superficie, modifica el balance hídrico del terreno, incluso teniendo en cuenta la gran variabilidad que se observa en la cubierta detrítica. La influencia de las colinas, montañas y valles en la dirección de los vientos da lugar a la modificación de la cantidad de las precipitaciones, las gotas de agua y los copos de nieve, son acarreadas o acumuladas ayudados por la topografía gracias a la movilidad del aire ya sea vientos o corrientes. Esas modificaciones en el balance de calor y de agua, los microclimas y topoclimas resultan siendo determinantes para generar condiciones bajo las cuales se dan las geofacies y geotopos que se desarrollan como resultado de diferentes tipos de climas antes mencionados.

Otros factores adicionales son también involucrados, dependen de la inclinación del terreno y de las diferencias de altura, circulaciones secundarias tales como los vientos de montaña y vientos de valle que funcionan diariamente en el área de estudio. Igual que las circulaciones secundarias, acciones en turno en el balance térmico e hídrico. Debido al viento local, diferencias significativas en la superficie por parte de la vegetación se empiezan a observar en las vertientes. El control del clima debido al aire en movimiento es diferente en regiones inclinadas que en regiones planas. En siguientes esfuerzos nosotros podremos trazar su origen, y las causas de los variados topoclimas. Por ello es conveniente tratar primero la radiación solar por ser un factor primario del clima.

Radiación en las vertientes

La posición de la vertiente está determinada por su dirección y ángulo o de modo análogo el rumbo y buzamiento. La dirección de la vertiente está dada por la diferencia angular en el plano horizontal entre el meridiano y un punto visto por un observador, se mide en grados en el sentido de las agujas del reloj, a partir del meridiano, si la dirección es de 90° es hacia el este, de 270° es al oeste. Si se mide a partir del norte magnético, se denomina rumbo o acimut magnético. Si la vertiente se compone de estratos es la línea recta trazada perpendicularmente al buzamiento, en el caso de rocas masivas la dirección se toma a lo largo de la vertiente



en la que está orientada. Una vertiente que mira al noroeste tiene un acimut de 315° E y en este caso recibe la iluminación solar por las mañanas.

La inclinación de la vertiente puede ser medida por el ángulo de la vertiente. El gradiente es frecuentemente usado como la medida de inclinación del relieve o de terreno. Resulta de la diferencia en altura entre dos puntos y la distancia horizontal entre ellos; este gradiente puede ser expresado tanto en grados o como en porcentaje, pero particularmente cuando la vertiente es pequeña es usual la expresión como ratio 1:x. por ejemplo una inclinación de $1^\circ = 1$ por 60 (realmente $57' 14''$); una pendiente de $2^\circ = 1$ por 30 (realmente $28' 65''$); una pendiente de $3^\circ = 1$ por 20 (realmente $19' 08''$); etc. Un gradiente puede ser expresado también en porcentaje, por ejemplo: un 5% de inclinación del terreno es igual a 1 por 20 (aproximadamente 3°).

Rangos completamente pequeños tienen un marcado efecto en la dirección de la radiación solar, esto no es sino uno de los casos de la radiación de la luz difusa. Desde este punto de vista, en las regiones intertropicales, como nuestra montaña andina, las pendientes por encima de poco más o menos 30° producen solamente muy pequeñas, usualmente despreciables diferencias. Sin embargo, en pendientes menores y en especial en las planas como en los fondos de valle la ganancia de calor debido a la mayor insolación es con frecuencia mucho más importante.

Respecto a la orientación de las vertientes se hacen algunas observaciones a manera de generalidades, valdría bien agregar la propuesta de estudios más detallados, es decir, referidas a ciertas localidades que presenten la vertientes representativas en lo que a recepción de la insolación directa se refiere. Vertientes más o menos uniformes, con característica particular o especial de exposición a la radiación solar, sea desde las primeras horas de la mañana en ciertos lugares, la insolación ocurre en las vertientes que miran al sol y en la vertiente opuesta recibe la radiación solar en las horas de la tarde, aun cuando a estas horas la aparición de la nubosidad normal actúa como una pantalla que atenúa la radiación directa. Así como también vertientes, debido a su posición y orientación especial, se hallan expuestas a la incidencia de radiación solar prácticamente durante todo el día, mientras que la vertiente opuesta se halla a umbría, dando de esta manera verdaderos micro y topo climas.

Cabe indicar que los estudios en este sentido son todavía escasos dificultados, aún más, por la inexis-

tencia de información meteorológica sistemática, de tal manera que la evaluación climática se hace ya por aproximaciones y comparaciones con áreas similares o con observaciones de campo, en este último caso, la evaluación resulta siendo cualitativa. Para cumplir con este propósito, tomaremos el auxilio en la parte pertinente de la clasificación climática de V. Köppen.

Climas del área de estudio

Se ha tomado para el efecto el sistema de clasificación climática de Vladimir Köppen.

El área de estudio, de acuerdo con la clasificación de Köppen, comprende un clima frío de montaña tropical, el mismo que comprende dos tipos climáticos: clima frío o de hielo de montaña tropical (EF), y un clima de tundra de montaña tropical (ET); y finalmente un clima frío templado de montaña tropical (Dwb) seco en invierno con temperaturas negativas por las noches y días que supera los 10°C . Los tipos climáticos se describen a continuación:

El clima *Frío o de Hielo de Montaña tropical* (EF). Bajo el dominio de este tipo climático Frío o de Hielo de Montaña Tropical se halla el área ubicada por encima del límite inferior del glaciar, fundamentalmente caracterizado por experimentar temperaturas negativas durante todos los días del año, condiciones térmicas que se alternan igualmente todos los días del año con temperaturas positivas.

Las temperaturas positivas son registradas a nivel del piso del hielo durante la máxima irradiación solar que ocurre principalmente las horas de la mañana, en estas condiciones las calorías que suministra la radiación solar comienzan a levantar las temperaturas que llegan a ser positivas, sin embargo, este calor tiene poca importancia ya que no llega a acumularse en la superficie del hielo ni en el aire en contacto con él, debido, de un lado, al elevado albedo de las superficies glaciares y, de otro, a las características físicas del aire que sobreyace en la superficie glaciar de poca densidad y escaso o nulos elementos variables que posee el aire tales como por ejemplo muy baja proporción de vapor de agua que como sabemos tiene la capacidad para retener calor, adicionalmente podemos agregar a aquellas características físicas que contribuyen a que el calor proporcionado por la radiación solar directa tenga poca importancia y son las siguientes: fuerte movilidad del aire, debido al gradiente bórico alto, bajas proporciones de gases de invernadero, elevada sequedad del

aire que genera una humedad relativa muy baja, baja densidad del aire y en consecuencia enrarecimiento del aire, falta de oxígeno.

Las precipitaciones son sólidas y ocurren principalmente en los meses de verano austral, es decir, entre los meses comprendidos entre diciembre y marzo, como consecuencia más activa de la Zona de Convergencia Intertropical, que se manifiesta principalmente por aportes de humedad desde el flanco oriental de la cordillera de los Andes.

Una característica notable de este tipo climático es la presencia de contrastes térmicos en su máxima expresión expresado, por ejemplo, cuando una nube más o menos densa se interpone a la radiación solar instantáneamente la temperatura comienza a disminuir; sin embargo, un hecho antagónico prosigue si la nube continúa estacionaria, se produce cierta estabilidad, lo que contribuye a que la movilidad atmosférica no actúe y por tanto las temperaturas negativas no bajen tanto, lo cual ocurre frecuentemente en la estación de verano.

El clima *Tundra de Montaña Tropical* (ET): seco en invierno, presenta precipitaciones principalmente sólidas durante el verano (entre diciembre y marzo), con temperaturas negativas presentes durante todas las noches del año y durante los días, en especial durante algunas horas de las mañanas las temperaturas pasan a ser positivas.

El área de influencia directa de este tipo climático se extiende desde el límite inferior del glaciar hasta el límite superior del crecimiento más o menos permanente de la vegetación.

En estas condiciones, debido a los elevados contrastes térmicos diarios, y sumados a las condiciones de precipitación estacionales contrastadas muy secas a lo largo de la mayor parte del año, concentrados en el verano, constituye condiciones muy rudas de las condiciones climáticas, razón por la cual se observa una muy escasa y ausente cobertura vegetal protectora.

Los contrastes térmicos diarios son notables, predominando el proceso alternativo hielo-deshielo que puede considerarse como generalizado, lo que explica perfectamente la eficacia de las acciones periglaciares las mismas que pueden considerarse como un proceso morfogenético predominante, no solo más eficaz sino también más intenso.

La muy escasa y ausente cobertura vegetal protectora propicia las acciones morfodinámicas activas, como los procesos periglaciares que son activos por las razones antes explicadas.

El clima *Frío Templado de Montaña Tropical* (Dwb): seco en invierno, con precipitaciones principalmente sólidas durante el verano, entre los meses comprendidos entre diciembre y marzo, con temperaturas negativas por las noches de todos los días del año y con un buen número de horas de las mañanas que pueden superar los 10°C.

En este tipo climático, los contrastes térmicos diarios a lo largo de todo el año constituyen una de las características más relevantes en el desarrollo del medio natural y consecuentemente para el desarrollo de los procesos geomorfológicos. Los contrastes térmicos diarios se caracterizan por presentar horas nocturnas con temperaturas por debajo de -0°C, las temperaturas negativas mínimas extremas ocurren como consecuencia del proceso de enfriamiento provocado por la pérdida de calor de irradiación, que continúa generalmente hasta el momento en que llegan los primeros rayos solares de la mañana. El proceso de enfriamiento cesa cuando llegan los primeros rayos solares de la mañana y, como consecuencia de este suministro de calor, se producen temperaturas diurnas positivas que pueden elevarse hasta por encima de los 10°C.

Este tipo climático se extiende en el área de estudio desde el límite superior del crecimiento más o menos permanente de la vegetación y por la parte inferior sobrepasa el límite del área de estudio.

Las condiciones climáticas contrastadas siguen siendo fuertes limitantes para la cobertura vegetal protectora; sin embargo, en las partes bajas de las vertientes suministradas de aguas de escurrimiento subsuperficial, bofedales u ojos de agua y en los fondos de valle, la vegetación especialmente compuesta de gramíneas se apiñan más compactamente en el terreno, protegiéndolo más eficientemente de los procesos periglaciares activos.

El sustrato rocoso del área de estudio

Comprende un examen de los afloramientos rocosos, su disposición de las estructuras y la actividad tectónica y volcánica, así como de los materiales detrítico-superficiales que recubren el terreno en forma sumamente desigual en el área de trabajo.

La geomorfología del área de estudio está particularmente condicionada por la composición litológica y la disposición estructural de las estratificaciones sedimentarias cretácicas, y de rocas volcánicas cenozoicas. Como consecuencia de los procesos geomorfológicos



Fotografía 1. Marca los límites entre el clima *Tundra de Montaña tropical* (ET) y el clima *Frío Templado de Montaña tropical* (Dwb). Nótese las fisuras propias de la actividad Periglacial intensa y una mata de gramínea aislada en un abrigo pese a las rigurosas condiciones del clima (Foto DDC).

del área tenemos una cubierta detrítica superficial de materiales repartidos muy desigualmente, compuestos por depósitos glaciofluviales y morrénicos que rellenan las depresiones, principalmente los fondos de valle del área de estudio.

Un aspecto relevante en las características particulares del relieve tiene que ver, además de la naturaleza mineral de la litología, con la estructura, es decir con la secuencia, los plegamientos y fallamientos de las estratificaciones sedimentarias cretácicas, al haber sufrido una intensa actividad tectónica como lo evidencian las formaciones estructurales de estratificaciones sedimentarias cretácicas tales como las de Chicama, Chimú, Santa, Carhuaz.

Las estratificaciones de la formación Chicama consiste esencialmente de lutitas gris oscuras a negras, pizarrosas con intercalaciones delgadas de areniscas que se encuentra distribuido en el sector de la cabecera, en la porción SO de la cuenca Pastoruri (Foto 2).

La formación Chimú consiste de areniscas blancas y macizas en capas de 1 a 3 metros de espesor, cruza meridionalmente la parte central de la cuenca Pastoruri.

La formación Santa está compuesta de calizas de color azul grisáceo con meteorización característica de la corteza azulina, sus estratos tienen grosores de



Fotografía 2. Nótese el perfil irregular hasta capricho de la orilla Este de la laguna glacial más grande en la microcuenca Pastoruri, debido las estratificaciones de lutitas grises a negras pizarrosas con intercalaciones delgadas de areniscas (Foto DDC).



Fotografía 2. Cimas del circo glacial activo. Foto DDC

10cm a 1 m y se emplaza ocupando una estrecha banda orientada de norte a sur en la parte central oriental de la cuenca Pastoruri.

La formación Calipuy está constituida de rocas volcánicas conformada de aglomerados, lavas, piroclastos de naturaleza andesítica de edad Cenozoica, se encuentra cubriendo al nevado Huanacopunta (5464 msnm) en el sector SO de la cuenca microcuenca Pastoruri, Cordillera Blanca (IGMMET Bol. N° 76. Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca).

Estos materiales sufren los efectos de una severa actividad tectónica evidenciada por una intensa fase de plegamientos que teniendo en cuenta variada coherencia e incluso contrastada, debido a la diferenciada natu-

raleza mineralógica de los estratos componentes de las formaciones antes descritas, como por ejemplo lutitas o pizarras de la formación Chicama intercalando con areniscas cuarzosas de la formación Chimú, dan como resultado un particular modelado donde en el relieve topográfico predomina la asimetría, como resultado la erosión diferencial que efectúan los agentes principales debido a las grandes diferencias de susceptibilidad que tienen estos materiales.

Es trascendente, desde el punto de vista morfológico, tener en cuenta la resistencia relativa de las rocas que aparecen en superficie, la cual depende de la naturaleza litológica de las mismas, que da lugar en cada caso a un determinado grado de susceptibilidad de las rocas frente a los agentes y procesos de erosión predominantes que actúan en el área.

La litología superficial del área de estudio, ligada muy estrechamente a los factores antes indicado, se refiere a las rocas expuestas a las acciones directas de los factores de erosión predominantes en el área de estudio. Son de origen tanto sedimentarias como volcánicas, con una variada resistencia relativa debido a su pobre o nula coherencia tales como lutitas o pizarras sumamente deleznales y bancos de areniscas cuarzosas muy coherentes, que han sufrido intensos procesos de plegamiento, a lo que hay que agregar los materiales volcánicos, terminan dando al sustrato un escenario en el cual los procesos modeladores del relieve marcan las elevaciones y las depresiones de manera notable en los complejos límites de las microcuencas dando lugar inclusive a capturas de cuencas.

Las formas de relieve

Las acciones morfogenéticas y morfodinámicas que las condiciones climáticas han impuesto, en un sustrato rocoso con características descritas, nos muestran en el área de estudio las formas de relieve claramente diferentes a las del centro y norte de la Cordillera Blanca.

Particularmente, en la microcuenca glaciar Pastoruri, aparecen formas de modelado del relieve como resultado de procesos morfogenéticos y morfodinámicos complejos caracterizados por una notable asimetría en las formas de relieve.

Esta asimetría notable que se observa se debe principalmente a que los procesos geomorfológicos responsables del modelado han actuado sobre estratificaciones sedimentarias de diferente composición mineralógica con una susceptibilidad fuertemente diferenciada a los

procesos del modelado no solo diferentes sino inclusive opuestos, a lo que hay que agregar una actividad tectónica y volcánica muy intensa además de compleja.

Con todo, dos son las principales formas de relieve que se pueden identificar, las cuales se hallan sometidas a activos procesos de modelado, cuya representación cartográfica se puede apreciar en el Mapa Geomorfológico adjunto al presente texto explicativo. Estas formas de relieve principales del área estudiada son: A) El circo glaciar y B) La artesa glaciar; las cuales a su vez, contienen otras formas de relieve menores, las cuales se describen y explican también en la parte que corresponde a las mismas.

A. El circo glaciar Pastoruri: Es una depresión en forma de anfiteatro más o menos semicircular, emplazado en la cabecera de la artesa glaciar del mismo nombre. En esta forma de relieve se puede distinguir a su vez, dos partes: el circo glaciar activo y el circo glaciar fósil.

– *El circo glaciar activo Pastoruri.* Es una depresión en forma de anfiteatro más o menos circular que aloja en su lecho a la masa glaciar, que alimenta con su lento descender el glaciar del mismo nombre. Se trata de una corta lengua glaciar terminal cuya importancia reside no sólo en su belleza natural, sino también por su mejor accesibilidad en comparación con los demás paisajes glaciares del área de estudio. El circo glaciar presenta cimas culminantes a 5 191 msnm y se halla cubierta por una masa glaciar de una extensión de 119 hectáreas aproximadamente (Fotografía 2).

El límite inferior del glaciar activo está sobre 5 025 msnm y en este sector del circo glaciar se halla haciendo contacto con el espejo de agua de la laguna (puede notarse en la fotografía 3). En esta zona se activa la fusión glaciar cuyos aportes de agua que alimentan a la laguna tienen la propiedad o capacidad de captar mayor cantidad de calor procedente de la radiación solar, por cuya razón se les denomina lagunas de origen glaciar.

Esta lengua terminal entra en contacto con la laguna más grande de la laguna Pastoruri.

En el borde terminal de la lengua glaciar en el borde superior (Fotografías 4 y 5) se observan grietas profundas como resultado de la intensa fusión que se produce en la base de la lengua glaciar.

Asimismo, es bastante frecuente observar derrumbamientos en el frente de la lengua glaciar cuyos bloques impactan en la superficie de la laguna, proceso



Fotografía 3. Límite inferior del glaciar Pastoruri. Foto DDC.



Fotografía 4. Detalles de frente glaciar Pastoruri. Foto DDC.



Fotografía 5. Detalles de la cara vertical en la porción terminal de la lengua glaciar Pastoruri Foto DDC.



Fotografía 6. Lengua glaciar terminal nótese las fracturas y estratificaciones finas. Foto DDC.



Fotografía 7. Lengua glaciar terminal nótese las fracturas y estratificaciones finas y los bloques de glaciar flotante en el primer plano. Foto DDC.



Fotografía 8. Muestra un sector de la lengua glaciar terminal que reposa en material detrítico molido y congelado. Foto DDC.

que acelera su fusión, no sin antes aportar numerosos bloques de hielo flotantes que comienzan a desplazarse en sentido de la corriente hacia el dique de evacuación de la laguna, como puede verse en las fotografías 6 y 7.

A diferencia de los intensos fisuramientos y fracturamientos que con frecuencia terminan en derrumbamientos en la zona lagunar, podemos observar que en la porción de la legua glaciar que reposa directamente en tierra (Fotografía 8) los procesos son mucho menos intensos, en consecuencia constatamos una diferencia notable del comportamiento glaciar en donde no hay contacto con aguas de fusión, en que por apoyarse en un lecho rocoso helado es mayor la estabilidad, por lo tanto la dinámica es menos intensa. En la fotografía 8 se observa este detalle.

Por otro lado, en la fotografía 8 se observa que la masa glaciar que compone la lengua glaciar tiene una relativa plasticidad en corto plazo, que claramente permite observar un espacio entre la base de la lengua glaciar y la tierra, asimismo se puede observar estalactitas, lo que nos indica que el aire es más frío que la superficie glaciar expuesto a la radiación solar. Se observa también la estratificación fina en la pared frontal de la lengua glaciar que es un indicador de las notables alternancias térmicas existentes.

– *El circo glaciar Fósil Pastoruri*. Es un gran anfiteatro o depresión que al haber sido inicialmente entallada por el glaciar es actualmente una zona abandonada por el glaciar y, por lo tanto, muestra evidencias de haber sido muy recientemente lecho masa glaciar y evidentemente de su trabajo mecánico.

Su importancia se explica por ausencia de masas glaciares, una de cuyas consecuencias principales es la finalización de procesos de gelivación y de aportes hídricos por fusión, así como también de la belleza escénica que proporciona una masa glaciar tropical, permitiendo ver solamente afloramientos rocosos agrestes (Fotos 9 y 10).

Actualmente, como se puede apreciar, la tendencia es el incremento de estas áreas conocidas como circo glaciar no activo o fósil, en detrimento del circo glaciar activo, este proceso es especialmente notable en los extremos este y oeste del anfiteatro o circo glaciar, sectores en donde han sobrepasado ya las cimas culminantes.

B. La artesa glaciar Pastoruri: Es una depresión profunda y alargada con fondo plano a ondulado, flanqueado por paredes generalmente escarpadas en espe-

cial allí donde las vertientes estructurales conforman cuevas cuyo frente precisamente da a la artesa; en otros casos, estas vertientes se encuentran recubiertos parcialmente de materiales detrítico superficiales en cuyo caso las pendientes se hallan bastante suavizadas; no obstante, estos materiales sueltos se hallan interrumpidos por afloramientos rocosos muy coherentes como bancos de cuarcitas que han ofrecido una notable resistencia a las acciones glaciares y periglaciares.

La naturaleza litológico-estructural del sector estudiado ha determinado en buena parte que los procesos de modelado glaciar y periglacial, construyan formas asimétricas, diferenciándose nítidamente de otras artesas de la cordillera Blanca en donde se observan valles con un perfil transversal en «U» perfectamente simétrico, debido a que el agente modelador principal ha sido el glaciar.

Dentro de la artesa glaciar Pastoruri, se puede distinguir dos formas de relieve saltantes: a) Vertientes de la artesa glaciar y, b) Superficies planas a onduladas del fondo de artesa.

A) Las vertientes de la artesa glaciar. Conformada por las vertientes que flanquean el fondo de valle y al eje de drenaje principal del río Pastoruri. Se trata de vertientes muy irregularmente configuradas en ambos flancos, debido a las características litoestructurales, propias de un valle o artesa encajada o excavada por un glaciar a partir del eje anticlinal, que dan lugar a construcciones estructurales desventradas e incluso invertidas, a ello hay que agregar diferencias locales de alimentación glaciar y de factores de exposición propio de un valle orientado de NS, lo que genera una disimetría notable.

a. En el flanco derecho, inmediatamente por debajo del límite nival actual, se observa afloramientos y puntas rocas que constituyen las crestas culminantes del dorso de las cuevas que en realidad son remanentes del anticlinal desventrado como se puede ver en la fotografía 11.

Este flanco de la artesa tiene características particulares, se trata del dorso de una vertiente estructural correspondiente a estratificaciones sedimentarias coherentes de areniscas y cuarcitas que explica las superficies pulidas por el glaciar conocidas como rocas aborregadas, las crestas agudas, el tono claro de las vertientes más o menos cortas pero uniformes y sin nada o muy poca cubierta de material detrítico, que hacen contacto directamente con los materiales que componen las for-



Foto 9. La parte superior muestra parcialmente el circo glaciar fósil. Sector Este de la microcuenca Pastoruri (Foto DDC).



Foto 10. La parte superior muestra parte del circo glaciar fósil. Sector Oeste de la microcuenca Pastoruri (Foto DDC).



Foto 11. A la derecha y en la parte alta la vertiente estructural y sus cuestas constituye las partes culminantes de la artesa Pastoruri por el lado oriental (Foto DDC).



Foto 12. A la margen izquierda y en la parte alta la vertiente estructural el frente de la cuesta, constituye las partes culminantes de la artesa Pastoruri por el lado occidental (Foto DDC).



Foto 13. Se pueden observar morrenas de fondo, laterales y frontales en especial en el primer plano de la fotografía. Foto DDC.



Foto 14. Superficies de colmatación lacustre, en el alternan el fondo de valle de la quebrada Pachacoto. Foto DDC.

mas y los procesos que se encuentran en los fondos de valle glaciar o artesa denominado quebrada Yanapampa de la microcuenca del río Pastoruri.

Un alineamiento de puntas rocosas de este mismo material prosigue por la parte inferior, las cuales bordean un sector de la porción NE del fondo de valle y posibilita al mismo tiempo una depresión que limita con las crestas divisorias, en la que se halla una laguna cuyos caprichosos contornos refleja muy claramente la naturaleza del sustrato. En los sectores culminantes limita la vertiente del valle glaciar un alineamiento de afloramientos rocosos a altitudes que bordean los 5 000 msnm, finalmente las crestas del Ceullajirca a altitudes de 4 925 msnm cierra la cuenca por la parte inferior, mientras las vertientes interiores exhiben un talud de derrubios que enmascara los afloramientos rocosos.

b. En la margen izquierda, sector en contacto con el actual límite nival, la divisoria presenta afiladas crestas que corresponde al frente de una cuesta, que por las características de la alternancia sedimentaria consistente de secuencias coherentes y poco coherentes, aporta abundante material detrítico superficial producto de la eficiencia de los procesos de gelifracción y se acumulan en las vertientes ya sea conformando taludes o conos de derrubios que casi entran en contacto con el fondo de valle plano, como se puede ver en la fotografía 12.

La divisoria en la parte inferior de la margen izquierda presenta afloramientos y puntas rocosas de menor altitud que su homólogo del sector opuesto, lo que se traduce en vertientes cortas que entran en la mayor parte de su extensión en contacto con la superficie de colmatación lacustre del fondo de valle.

B) Superficies planas a onduladas del fondo de artesa. Son superficies planas a onduladas emplazadas en el fondo de valle. Engloban: a) Depósitos morrénicos, b) Superficies de colmatación lacustre, y c) Acumulaciones fluvio-glaciares.

a. Depósitos morrénicos, como se puede apreciar en las fotografías 12 y 13, se observa la morrena lateral izquierda haciendo contacto y sirviendo de base a los taludes y conos de derrubios de las vertientes y luego en la parte interior de la morrena lateral se observan las morrenas de fondo conformando superficies de moderadas pendientes.

Los materiales de las morrenas poseen una granulometría muy variada, compuesta predominantemente

de material fino de tonos grises a negros, ya que provienen de las lutitas pizarrosas que engloban guijarros y bloques semiangulosos de colores claros que provienen de estratificaciones delgadas de areniscas principalmente.

Las características de coherencia de las morrenas han atentado contra la buena conservación de las formas morrénicas, de modo que las formas de las morrenas son reconocidas no sin un poco de dificultad.

b. Las superficies planas de colmatación lacustre deben su plenitud debido a que su formación ocurre como consecuencia de la lenta sedimentación en condiciones de tranquilidad, sobre todo de material fino arrastrados por aguas corrientes hasta la laguna de origen glaciar la misma que inicialmente se encuentra ocupando la depresión del fondo de valle. Las aguas de la laguna son lentamente desalojadas por la sedimentación transportada por las aguas corrientes, sobre todo por suspensión, hasta que finalmente emerge a la superficie con sus características de planitud, por lo que se las denomina superficie de colmatación lacustre.

Actualmente, a 4 650 msnm, se puede apreciar en la parte central del fondo de valle plano, valle glaciar, tres lagunas pequeñas más o menos aisladas unas de otras, como evidencia final de este proceso. Mientras que en la base del circo glaciar fósil Pastoruri se observa otra superficie de colmatación sobre los 4 800 msnm.

c. Las superficies onduladas por acumulaciones fluvio-glaciares, constituyen superficies onduladas, ocupan en fondo de valle o artesa glaciar, por la parte anterior a las superficies de colmatación lacustre. Se forman por acumulación de materiales pobremente seleccionados y estratificados arrastrados por las aguas de fusión glaciar o fluvio-glaciar, desde la parte superior por el eje de drenaje principal. Esta forma de relieve constituye el fondo de valle glaciar, surcado por el río Pastoruri cuyo nacimiento se produce a partir de las aguas de fusión glaciar en pleno proceso de formación, toma dirección inicial hacia el SO, alimenta un rosario de lagunas para finalmente dirigir su curso ortoclinal hacia el NO en su extensión principal.

Los procesos geomorfológicos predominantes

Los procesos geomorfológicos que predominan en el modelado al área de estudio son: A) Procesos glaciares y B) Procesos periglaciares.



Foto 15. Masa Glaciar de la lengua terminal Pastoruri. Foto DDC.



Foto 16. Laguna de origen glaciar en la base de la lengua glaciar Pastoruri. En este momento aparece en la fotografía congelada. La foto es tomada desde el borde superior de la lengua glaciar terminal. Comparar con la foto 17



Foto 17. Laguna de origen glaciar en la base de la lengua glaciar Pastoruri. La foto es tomada en dirección al frente glaciar. Compárese con la foto N°16. Foto DDC.



Fotografía 18. Aportes de agua del glaciar Pastoruri. Foto DDC.



Fotografía 18. Ambiente en donde el proceso periglacial es generalizado e intenso. Foto DDC.



Fotografía 19. Muestra las características de la cobertura vegetal en las áreas periglaciares (Foto DDC).

A. Los procesos glaciares. Son aquellos procesos geomorfológicos en donde el glaciar actúa como principal agente de erosión, en consecuencia es responsable del modelado del relieve. Dentro de estos procesos tenemos: a) Procesos glaciares actuales y b) Procesos glaciares del pasado reciente.

a) Procesos glaciares actuales. Estos procesos tienen su sede en el circo glaciar activo actual, cuya dinámica constituye una de las manifestaciones más evidentes de las condiciones climáticas y de su variabilidad. La masa glaciar, por sus características plásticas, se deforma en sentido de la gravedad, es decir siguiendo la pendiente. Esta deformación es más fuerte en su porción terminal por la que emite una lengua glaciar que se proyecta inclusive desafiando el límite de cero grados, razón por la cual su fusión es acentuada, actualmente la lengua glaciar es relativamente proporcional a la masa glaciar existente en el circo.

La masa glaciar ejerce una enorme presión en su lecho y al mismo tiempo desarrolla un desplazamiento pendiente abajo, con la gran presión que ejerce en su lecho helado, desmenuza los bloques de roca, parte de este material se involucra en la masa glaciar que fluye con los que adquiere una capacidad de pulimento todavía más eficaz. Al mismo tiempo que desmenuza, muele, pulimenta empuja a su alrededor materiales sin orden de granulometría, los bloques se hallan semiangulosos y englobados en una matriz arcillosa pizarrosa gris a negra, las más resistentes persisten como material más grueso son las morrenas, que al quedar expuesto a las acciones de la escorrentía superficial permiten observar la predominancia de material detrítico grueso principalmente areniscas y cuarcitas (como se puede apreciar en la fotografías 12 y 13).

Una de las consecuencias directas de los procesos acelerados de fusión glaciar que afecta especialmente los bordes terminales del glaciar es la formación de lagunas que en razón de su origen se les denomina lagunas de origen glaciar (comparar fotos 16 y 17).

La explicación de esta acelerada fusión glaciar tiene en un plano local, a nivel de topoclima, las diferentes respuestas térmicas a la radiación solar de las aguas de la laguna y de la masa glaciar que ya se comentó, y la explicación que responde a un nivel general está en el incremento global de la temperatura que genera el cambio climático ya que el hielo es muy sensible al incremento de la temperatura y las fluctuaciones térmicas (para congelar un gramo de agua se necesitan

700 calorías mientras que para fundirlo solo 80 cal.). En un país intertropical como el nuestro, los glaciares constituyen un fenómeno extra zonal y su presencia obedece a las altitudes que alcanzan nuestras montañas cuyas crestas superan el límite térmico de los 0°C, considerando el gradiente vertical de temperatura.

En la microcuenca Pastoruri el dominio de los glaciares se halla a una altitud máxima de 5 191msnm y el de menor altitud actual 5 025 msnm, o sea, una diferencia de altura de 166 metros lineales desde su porción inferior hasta sus cimas glaciares culminantes.

El glaciar Pastoruri constituye uno de los principales agentes que dan lugar a procesos responsables en la configuración del relieve estudiado, ya que las huellas directamente observables de su accionar está en todas partes, ya sea como formas de erosión o de acumulación. Entre las primeras se observan procesos de gelivación y geligracción tales como crestas gelifractadas agudas, taludes y conos de derrubio, alineamientos rocosos afilados, etc., mientras que entre las segundas, sobresalen las morrenas, los depósitos fluvioglaciares y las superficies de colmatación lacustre, todas ellas pueden ser observadas en el Mapa Geomorfológico a Escala 1:25 000, que por razones de espacio no serán publicados.

Los glaciares, como agentes de modelado del relieve actual, actúan a través de ciertas acciones, de entre las que se pueden identificar el glaciar actúa: excavando, puliendo, moliendo, trasladando y acumulando material detrítico. **Excavando**, producen depresiones cuyas características y dimensiones llegan hasta gigantescas artesas o valles glaciares durante los máximos auges glaciares, cabe recalcar que son más claras y espectaculares las acciones de escavado en las rocas masivas y coherentes como, por ejemplo, en los intrusivos. Los glaciares también actúan **puliendo**, lo que se produce a consecuencia del accionar del glaciar sobre materiales relativamente coherentes en donde se observan superficies raídas o estriadas ayudados por las rocas que integran en su masa (como se observa en las fotografías 11 o 14). **Moliendo**, ocurre como consecuencia de la enorme presión que ejerce la masa glaciar produciendo el desmenuzamiento de las rocas hasta tamaños mínimos (harinas glaciares). Los glaciares también actúan **trasladando, empujando y acumulando** los abundantes materiales detríticos de gran variedad granulométrica involucrándolos inclusive en su masa glaciar, que goza de cierto movimiento fluidal, razón por la que empuja, abandona materiales en forma de cordones que son las

morrenas lateral, frontal, central, etc., cuando se produce la fusión sobre todo en sus bordes terminales, y las morrenas de fondo, cuando la legua glaciar se fusiona *in situ* para, además, dar origen a una laguna glaciar.

Utilizando distintos procedimientos y con la ayuda de fotografías aéreas e imágenes se ha podido fijar en el tiempo la extensión que la masa glaciar abarcaba en cada uno de los momentos, las mismas que una simbología adecuada han sido representadas en el Mapa Geomorfológico que se describe y explica.

Las fotografías aéreas a escala 1:40 000 USAF, de agosto de 1962, nos ofrecen el primer antecedente gráfico-visual del glaciar Pastoruri, y la que ha permitido reconstruir la extensión superficial que la masa glaciar ocupaba en esta fecha abarcando 282 ha.

Un segundo documento gráfico-visual del glaciar Pastoruri, disponible para el presente trabajo, es la imagen Land Sat de julio de 97 que ha permitido encontrar el límite inferior del glaciar en esa época con la cual se ha podido establecer 127 hectáreas de extensión de la masa glaciar. Es necesario dejar constancia que la limitación que deviene de la escala original del Land Sat y su acercamiento a la escala de trabajo 1:25 000, ha determinado que los cálculos efectuados para encontrar los valores indicados son aproximados y sujetos a perfeccionamientos futuros.

La imagen ASTER, de agosto de 2001, ha permitido establecer 119 ha. Para esta imagen cabe la misma observación anterior.

B. Los procesos periglaciares. Los procesos periglaciares son aquellos que resultan como consecuencia de la alternancia diaria del congelamiento y deshielo sobre el relieve, así el agente de este proceso viene a ser el hielo-deshielo, traduciéndose su accionar de manera visible en la construcción de formas de relieve características. Actúan tanto por mecanismos de gelifracción o criogénesis, solifluxión y movimientos en masa, exudación, etc.

Bajo condiciones de clima Frío Templado de Montaña Tropical (Dwb), donde la cobertura vegetal es pobre (ver fotografías 18, 19 y 1) o no existe, y el suelo esté lo suficientemente humedecido, los procesos periglaciares constituyen los procesos morfodinámicos más eficientes tales como: gelifracción, solifluxión, exudación y reptación entre los más importantes. Bajo estas condiciones climáticas los procesos periglaciares además de predominantes son generalizados y frecuentes del área, generalizados porque actúan en toda la ex-

tensión del terreno y frecuentes porque ocurren todos los días del año a condición de que exista suficiente cantidad de agua.

La ocurrencia del proceso periglacial se ve favorecida como consecuencia de superficies expuestas, enfriadas por irradiación que alcanzan temperaturas negativas, desde las primeras horas de la tarde para alcanzar mínimas extremas que se experimentan en las primeras horas en las mañanas cuando la pérdida de calor por irradiación llega a su fin a partir del momento en el cual el terreno recibe los primeros rayos solares del día; luego, a medida que se intensifica la incidencia de la radiación solar las temperaturas pasan a ser positivas, alcanzando las máximas extremas en las primeras horas de la tarde. Este ritmo diario de la fluctuación térmica muestra la amplitud térmica diaria máxima, ocurre durante todos los días del año, inclusive en el verano, época en la cual esta amplitud térmica se modera considerablemente, por ello es que, en relación con los procesos morfogenéticos y morfodinámicos, los contrastes térmicos diarios son más relevantes que los contrastes estacionales, ya que los primeros resultan ser más activos y eficaces.

Las temperaturas en clima Frío Templado de Montaña Tropical (Dwb) descienden también en el verano por debajo de 0°C, de hecho son mucho menos extremados que en el invierno; sin embargo, hay que precisar que, desde el punto de vista morfológico, los contrastes térmicos diarios en el verano son mucho más eficaces, debido al permanente suministro de agua embebiendo tanto los materiales detríticos superficiales, los suelos y las fisuras del substrato rocoso expuestos como para que el proceso hielo-deshielo sea eficiente, mientras que los contrastes térmicos estacionales de invierno pese a ser más acusados son menos eficientes desde el punto de vista morfológico, debido a la menor dotación e incluso déficit de agua en las vertientes.

Los procesos periglaciares muestran un grado máximo de eficacia con la presencia de ciertos elementos y factores concurrentes como materiales coherentes y fisurados, como las que se presentan en el área. A la presencia de estratificaciones superficiales coherentes y fuertemente fisuras, tenemos que agregar presencia suficiente de agua, cuyo humedecimiento es fundamental para la eficacia de los procesos periglaciares y sin el cual los procesos periglaciares se reducen a modificaciones de volumen de los materiales superficiales por dilatación y contracción poco efectivos.

Conclusiones

1. Es indispensable contar con mediciones sistemáticas de las variables determinantes que interactúan en la dinámica geomorfológica de la microcuenca Pastoruri para poder hacer seguimiento de su evolución.
2. El acelerado retroceso glacial se produce como consecuencia del calentamiento global que genera el cambio climático global que se viene experimentando en las últimas décadas.
3. La falta de información climática para el conocimiento de la variabilidad climática ha sido suplido de modo cualitativo a través del análisis multitemporal de los glaciares desde los años 1962, 1997 y 2001 que ha permitido establecer una secuencia de retroceso glacial que ha sido fijado cartográficamente en el Mapa Geomorfológico.
4. Este acelerado retroceso glacial Pastoruri tiene origen en el calentamiento global pero que, sin duda, ha sido acelerado por factores específicos locales y principalmente por un inadecuado manejo de factores antrópicos.
5. La disminución acelerada de la masa glacial Pastoruri y consecuente retroceso, más allá de ser el factor global que el incremento de la temperatura consecuencia del cambio climático es indiscutiblemente acelerado por agentes locales principalmente antrópicos, como la contaminación que tienen que ver con la alteración del comportamiento térmico del agua o hielo en especial el uso de materiales no naturales y no biodegradables, tales como sintéticos, bolsas, recipientes, utensilios y otros desechos no biodegradables.

Recomendaciones

1. Mantener el estado de visita restringida el área de Pastoruri.
2. Realizar un seguimiento minucioso futuro de todas las actividades humanas en el área.
3. Evaluar el impacto que el cierre al turismo está generando en los pobladores locales a fin de adelantarse en el tratamiento de posibles conflictos futuros.
4. Difundir en la población local enseñanzas que deja la actual situación y de cómo manejar de modo sostenible este tipo de recursos con conocimiento y la planificación adecuada.
5. La instalación de una estación climática y meteorológica en la microcuenca Pastoruri, cuya información sería de una enorme importancia para el seguimiento de la deglaciación que experimenta el área del sector sur de la cordillera Blanca.

Referencias bibliográficas

- COQUE, Roger (1977). Geomorfología Armand Colin París.
- DOLLFUS, Olivier (1964). Cambios climáticos cuaternarios en la Andes peruanos. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima*. 83: 65-74.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (1996). *Boletín* N° 76. Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Lima.
- KINZL, Hans (1947). Cordillera de Huayhuash. *Boletín del Instituto de Geografía UNMSM*. Lima.
- LOZÁN, J. Climate of the 21 st century: Changes and risks-Hamburg Germany.
- SUGDEN D. Y JHON,B (1977). Glaciers and landscape.