



Evolución glaciar en los Andes Centrales

(Cordillera Blanca, Junín, Cordillera Oeste de Bolivia y Cordillera Real)

Adrián Fernández Sánchez

**Trabajo de Fin de Grado de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad Complutense de Madrid**



Huayna Potosí. Cordillera Real, Bolivia.

Tutor: Dr. David Palacios Estremera

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física (UCM).

Junio de 2014. Madrid.

*Pero ¿dónde están las nieves de antaño?
François Villon (1431-1485).*

***Evolución glaciár en los Andes Centrales
Adrián Fernández Sánchez***

***E-mail: adrianfdez57@hotmail.com
Teléfono de contacto: (+34) 605843486***

***Facultad de Geografía e Historia
Universidad Complutense de Madrid
Trabajo de Fin de Grado
Grado en Geografía y Ordenación del Territorio***

Agradecimientos

En primer lugar agradecer al Dr. David Palacios, tutor del Trabajo de Fin de Grado, la dirección y los consejos ofrecidos, sin los cuales no habría sido posible desarrollar correctamente este estudio. Agradecerle también, el haber proporcionado la gran mayoría de la información, sin olvidar la aportada por el Dr. Antoine Rabatel, la cual ha sido muy útil para la elaboración del trabajo.

Mis agradecimientos van también dirigidos a mis padres Carlos y Mar y a mi hermana Eva Lara, por la paciencia mostrada durante el largo proceso de la elaboración del trabajo de fin de grado. Agradecer a África Quílez su apoyo y confianza. También he de dar las gracias a amigos y compañeros por sus ánimos.

De forma especial dedico mi agradecimiento a Laurenth Montero, quien de su mano me dio a conocer los lugares que motivaron este estudio.

Por último agradezco a Medardo Chávez su disponibilidad para conseguir material de información que pudiese completar el trabajo.

Gracias a todos vosotros.

1. Introducción	5
1.1. Resumen	5
1.2. Justificación	5
1.3. Objetivos.....	6
2. Encuadre territorial	7
2.1. Localización de los Andes Centrales.....	7
2.2. Marco Macroclimático.....	8
2.3. Litología y Geología	8
2.4. Características Climáticas	10
2.5. Estructura y Geomorfología	12
2.6. Características Hidrológicas	13
3. Metodología	15
4. Resultados	21
4.1. Cordillera Blanca, Perú	21
4.2. Cordilleras de Junín y Huaytapallana, Perú	28
4.3. Zona Volcánica Central de Bolivia.....	34
4.4. Cordillera Real de Bolivia	41
5. Discusión.....	48
5.1. Forzamientos a escala milenaria	48
5.2. Forzamientos a escala centenaria	52
5.3. Forzamientos a escala decadal e interanual.....	54
6. Conclusiones.....	56
Referencias bibliográficas.....	62

1. Introducción

1.1. Resumen

Como es sabido, los glaciares responden a los cambios climáticos con cambios en su superficie. A lo largo de las épocas pasadas, los glaciares de los Andes Centrales han evolucionado de forma distinta dependiendo de su ubicación en latitud y según su situación en la Cordillera Oeste o en la Cordillera Este. Los últimos máximos glaciares (Last Glacial Maximum) ocurrieron de forma sincrónica hace 34 ka en Cordillera Blanca (Perú), Cordillera Real (Bolivia) y Junín (Perú) y son anteriores a los máximos mundiales. Tan solo en la Zona Volcánica Central de Bolivia los glaciares avanzaron consistentes con el máximo glacial global, hace 25 ka. Las causas de estas diferencias son debido a la distinta intensidad de fenómenos como el Monzón Sudamericano y a la magnitud del desplazamiento en latitud de la Zona de Convergencia Intertropical, factores controlados por los cambios de insolación debidos a forzamientos astronómicos. Los avances recientes ocurrieron durante la Pequeña Edad de Hielo (Little Ice Age), en torno al Siglo XVII, en todas las cordilleras del ámbito de estudio de las que se tienen datos. Además fueron sincrónicos con el resto de máximos LIA mundiales. Para los máximos LIA los factores que se han establecido como consecuencias de las condiciones que dieron lugar a los avances son la variabilidad de las temperaturas de la superficie marina (Sea Surface Temperature) y la variabilidad de los episodios ENSO (El Niño y La Niña). En este trabajo se pone de manifiesto las diferencias en la evolución glacial según la ubicación en latitud y en diferentes cordilleras, las cuales llevaron a la incidencia de condiciones climáticas distintas.

1.2. Justificación

Excluyendo el agua subterránea, los glaciares son el 80% de las reservas de agua dulce en el planeta. El 99% de esta agua en estado sólido se encuentra en la Antártida y Groenlandia, mientras que el resto se reparte en las regiones templadas, subtropicales y tropicales (Kaser y Osmaston, 2002).

De los glaciares tropicales, el 99% se encuentran situados en la región de los Andes Centrales de Sudamérica, mientras el resto están en montañas tropicales de África, Asia y Nueva Zelanda. La distribución de estos glaciares en los Andes Centrales es simple: el 70% se sitúa en Perú, el 20% en Bolivia y el 10% restante en el Norte de Chile y Argentina. Sin embargo estas cifras representan el 5% de los glaciares a escala planetaria (Kaser y Osmaston, 2002).

Los glaciares son importantes como recursos hidrológicos y como indicadores del cambio climático. En la región de los Andes Centrales abastecen con agua dulce a los habitantes de capitales como La Paz (Bolivia) y Lima (Perú) o las regiones áridas de Chile y Argentina, en donde llegan a permitir aprovechamientos agrarios del suelo donde sin las aguas de fundido glacial sería imposible. También son recursos valiosos para la generación de energía hidroeléctrica con ejemplos de poblaciones como Huaraz, en Perú o Sauce Andes, Chile (Hambrey y Alean, 1992).

Los glaciares responden con cambios de balances de masa en sus superficies a las fluctuaciones climáticas de larga y corta duración, bien sean fluctuaciones locales, regionales o globales. La respuesta es la diferencia entre la acumulación y la ablación. Los situados en áreas tropicales son altamente sensibles a los cambios en las características climáticas locales y regionales. Por lo tanto la evolución de los glaciares tropicales servirá como indicador de los patrones climáticos pasados, llegando a reflejar variaciones en temperatura y precipitación a escalas milenarias, centenarias, anuales, interanuales e incluso diurnas.

Conocer la evolución glaciaria a nivel regional en los Andes Centrales permite interpretar la recurrencia a escala milenaria de fenómenos como El Niño Southern Oscillation (al igual que fenómenos La Niña), variaciones en la temperatura de la superficie marina, desplazamientos en la Zona de Convergencia Intertropical, variaciones en la intensidad de la insolación y de manera más especial la respuesta a la producción de gases de efecto invernadero (Gutiérrez Elorza, 2001).

El futuro climático de nuestro planeta puede predecirse a través de la observación de la respuesta glaciaria pasada a las variaciones climáticas. La introducción de estos patrones en programas de modelización permite conocer la respuesta a futuro de los glaciares y también las posibilidades de recurrencia de los fenómenos que han llevado a determinadas condiciones para el mantenimiento, el avance o el retroceso glaciario.

A su vez la evolución glaciaria en los Andes Centrales permite establecer los rebotes isostáticos producidos en los últimos miles de años, los que se siguen produciendo y los que se producirían en caso de que los glaciares retrocediesen más aún.

1.3. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal sintetizar la evolución glaciaria en los Andes Centrales de Sudamérica, así como correlacionar los cambios en la extensión glaciaria de diferentes áreas de los Andes Centrales, explicando los eventos que hayan podido motivar dichos cambios.

El conocimiento de la evolución glaciaria en los Andes Centrales de Perú y Bolivia es el tema de estudio principal de este trabajo. El mismo se centrará en la obtención de datos relativos a las fluctuaciones de las líneas de contorno glaciario durante los principales eventos climáticos conocidos en el periodo Cuaternario.

Para el análisis de la evolución glaciaria se han elegido cuatro cordilleras que cubrirían las dos principales divisiones fisiográficas de los Andes Centrales (Cordillera Oeste y Cordillera Este) y los glaciares situados tanto en las latitudes tropicales cercanas al Ecuador y las más alejadas.

2. Encuadre territorial

2.1. Localización de los Andes Centrales

Los Andes es una cordillera sudamericana de 8.500 kilómetros de longitud, ubicada entre 12° N y 56° S de latitud. Posee una anchura variable de entre 250 kilómetros en su zona más estrecha y 750 kilómetros en la más ancha.

La complejidad de la colisión continental y sus características tectónicas dan la división de la cordillera en tres complejos: los Andes del Norte, los Andes Centrales y las secciones del Sur.

Los Andes Centrales tienen una longitud de 5.200 Km y comprenden una parte de los Andes. A su vez los Andes Centrales se dividen en Andes Centrales del Norte y Andes Centrales del Sur. Los primeros poseen una tendencia de alineaciones montañosas de NW-SE y discurren desde Huancabamba (5° S) hasta Arica (18° S), mientras que los Andes Centrales del Sur tienen una tendencia de alineaciones N-S y se prolongan desde Arica hasta una latitud aproximada de 30° S. El Anexo II.1 y la Figura 2.1.1. muestran la localización de las altitudes superiores a 4000 metros sobre el nivel del mar, que se pueden considerar como los Andes Centrales.

Es posible afirmar, por tanto, que los Andes Centrales tienen una posición Tropical y que las dinámicas climáticas quedarán influidas por esta posición.



Figura 2.1.1. Extracto del Anexo II.1. donde se muestran las altitudes superiores a 4000 m. Elaboración propia a partir del mapa de localización de Mark et al. 2004.

2.2. Marco Macroclimático

Según la clasificación Köppen el dominio en los Andes Centrales sería un Clima de Alta Montaña, con la fórmula “H” correspondiente a la clasificación establecida en 1936. En ocasiones este clima se le denomina, Clima de Puna, siendo propio del área central de la Cordillera Andina (Cuadrat y Pita, 2011).

El clima de Puna está basado fuertemente en la altitud y la posición latitudinal. Es una región de baja presión atmosférica, escasas precipitaciones y una temperatura media variable de 6°C hasta los -7°C (Cuadrat y Pita, 2011).

2.3. Litología y Geología

La litología de los Andes Centrales¹ es muy heterogénea y de difícil aproximación. Para comentarla se ha tratado de resumir los diferentes tipos de rocas, agrupándose en formaciones que compartan génesis y litología. En el *Anexo II.II.* se puede observar las principales formaciones litológicas de los Andes Centrales.

Los materiales que componen los Andes Centrales son principalmente sedimentarios y en gran medida volcánicos. También se encuentran rocas ígneas que intruyen metasedimentos o que forman batolitos. Principalmente son sedimentos de la era Paleozoico que han quedado elevados por las tectónicas compresivas y extensivas.

Andes Centrales del Norte

Los Andes Centrales del Norte poseen litologías sedimentarias e ígneas.

Las formaciones sedimentarias son principalmente de un ambiente marino somero. Se trata de litologías de Conglomerados, Areniscas, lutitas, Margas y Calizas. Constituyen el componente principal de los rebordes del Noreste (los Subandes) y el Noroeste. Su cronología se corresponde con los periodos Cretácico y Triásico. También existen algunos materiales de origen vulcanosedimentario, como piroclastos y cenizas volcánicas.

El interior de los Andes Centrales del Norte se compone de formaciones ígneas, que forman plutones y batolitos. Se extienden hasta más al Sur de la Llanura de Junín (de relleno lacustre, formación “Juaya”) y se componen de Granitos, Granodioritas (de la era Paleozoico) y plutones

¹ Este apartado se compone de unidades geológicas sintetizadas a partir de los datos de los visores de cartografía geológica del servicio INGEMMET (www.ingemmet.gob.pe) del Estado del Perú, del servicio Sernageomin (www.sernageomin.cl) del Estado de Chile y del Visor de Infraestructura de Datos Espaciales Geobolivia (<http://geo.gob.bo/>) del Estado Plurinacional de Bolivia.

de origen Precámbrico y tardihercínico (probablemente de cronología correspondiente al periodo Mesozoico). Las granodioritas a su vez aparecen en los rebordes Este y Oeste.

Andes Centrales del Sur

En el lugar donde las alineaciones comienzan a girar de N-S a NE-SW aparecen los metasedimentos de geología correspondiente al periodo Ordovícico, aunque en ocasiones son Silúricos. Algunos de estos metasedimentos han sido intruidos por los plutones tardihercínicos ya comentados. El interior de estos Andes Centrales “medios” está compuesto de unidades de sedimentos volcánicos de cronología entre miocena y pliocena-holocena. Estos se asientan sobre sedimentos marinos profundos (cuya litología está compuesta de Limolitas, Areniscas, Lavas almohadilladas y Cuarcitas) correspondientes a diferentes periodos como el Ordovícico y el Cretácico. Estos sedimentos afloran al Norte de los sedimentos volcánicos.

Al Norte y Sur del Lago Titicaca comienzan los sedimentos continentales (de origen endorreico) aluviales y fluviales correspondientes al periodo Cuaternario fundamentalmente. Estos se asientan sobre materiales marinos de litología de Conglomerados, Areniscas, Yesos y Margas, que afloran al Sur del lago Titicaca. En el Suroeste de Bolivia y también en Chile se encuentran extensos depósitos salinos del periodo Cuaternario que constituyen salares como los de Coipasa, Uyuni o Atacama.

La Cordillera Este (Cordillera Real) está formada por una serie de plegamientos sinclinales y anticlinales de los depósitos generados durante diferentes eras geológicas. En su mayor parte los plegamientos se corresponden con sedimentos marinos profundos ya comentados y correspondientes al periodo Ordovícico. Hacia el centro de la Cordillera se encuentran las formaciones del periodo Silúrico, con una litología de Lutitas, Cuarcitas y Diamictitas. Los materiales Devónicos han quedado en alineaciones del exterior Este de la cordillera, y están compuestos por Areniscas, Lutitas y Limolitas formando unidades de origen marino somero.

Hacia el centro de la cordillera existen formaciones del periodo Cretácico compuestas de Calizas, Areniscas, Margas y Basaltos intercalados (diques) quedando en alineaciones N-S en anticlinal.

La Cordillera Occidental está compuesta de coladas de lavas básicas que forman estratovolcanes o llanuras volcánicas. Entre ellos se han depositado sedimentos aluviales (Conglomerados, Areniscas, Limolitas) de cronología Pliocena-pleistocena y sedimentos lacustres (Limos y Arcillas) de idéntica referencia temporal. También hay grandes extensiones de rocas vulcanosedimentarias, especialmente en territorio chileno. En cualquier caso, la mayor parte son flujos de lavas solidificadas y tobas soldadas, especialmente en la frontera entre Chile y Bolivia. Algunos lugares de Chile tienen una cronología correspondiente a la época Mioceno, estando asociadas a calderas de colapso y conos piroclásticos.

El área Este de los Andes Centrales del Sur, ya en el Noroeste de Argentina, sigue teniendo una estructura de formaciones volcánicas con litologías correspondientes a lavas basálticas. Además hay extensiones importantes de depósitos lacustres y aluviales de cronología Cuaternaria, que parecen asentarse sobre sedimentos marinos someros.

2.4. Características Climáticas ²

Puesto que los Andes son montañas de gran altitud, muchos de los cambios físicos ambientales que ocurren en ellos están asociados con la elevación. Los diferentes cinturones de elevación tienen temperaturas medias constantes y una pronunciada estacionalidad en la precipitación. Estas condiciones son debido a los efectos del aumento en latitud de la Zona de Convergencia Intertropical y a los vientos de transporte de humedad.

Las laderas orientadas al amazonas son húmedas o perhúmedas (*Figura 2.4.1.*). Los rangos de precipitación van de 1000 a 3500 milímetros. La temperatura media típica a 1000 metros de altitud es de 21°C, enfriándose en la noche debido a los vientos de bajada de las laderas. A 3000 metros desciende la temperatura media hasta los 11°C y a 4000 metros queda a 5°C. La isoterma 0°C anual se sitúa por tendencia a 5200 metros de altitud.

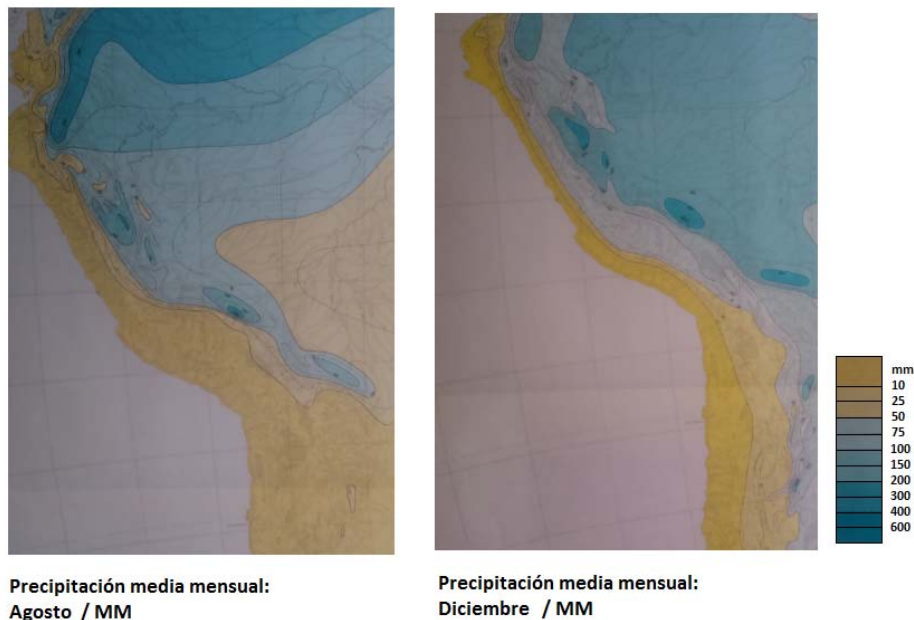


Figura 2.4.1. Medias de precipitación mensual, Agosto y Diciembre. Fuente: Atlas Climatique de l' Amerique du Sud.

Las laderas al abrigo de las masas húmedas frecuentes son secas. La humedad relativa es menor, aunque las nieblas son importantes ocurriendo estas durante la estación lluviosa. Los ratios de temperatura son similares (0.5°C/100 m) así como las temperaturas medias anuales respecto a las laderas húmedas. Los valles intermontanos tienen más estaciones secas.

El Altiplano experimenta temperaturas subheladas durante la noche de las estaciones secas.

² Este apartado es una síntesis extraída del libro "The physical Geography of South America" Veblen T.T., K.R. Young y A.R. Orme, 2007.

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

