

Movimiento límite de los bosques de *Polylepis* en relación al retroceso glaciar en la microcuenca Quillcay - Ancash

RAFAEL CÁCERES

Universidad Carolina de Praga, República Checa, Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú, Facultad de Ciencias Forestales

Abstract

Polylepis forests in the Andes, of fragmental distribution, house a great diversity of flora species and an extraordinary and unique fauna in mountain ecosystems in altitudes above 3500 m. Studies on these forests proved the existence of more than twenty *Polylepis* species (Kessler, 1995) in the Andes, more precisely in Ecuador, Peru, Bolivia, the north of Argentina and Chile, the richest habitat of this gender in the world being Peru with fifteen species and 2% of its territory hosting them (Kessler & Driesch, 1993; Kessler, 1995a and b; Fjeldså & amp; Kessler, 1996). However, *Polylepis* forests are being rapidly depleted as Andean population use them for firewood and building material. The wood is also burnt and its ashes are used for improving the quality of grass in the high Andes.

In the province of Ancash in Peru, in the Cordillera Blanca, there is a biosphere reservation, the National Park Huascarán, famous mainly for its tropical glaciers, the highest in the world. The Park is one of the few refuges of a sound population of these forests and of a rich variety of flora species and endemic fauna (Fjeldså & amp; Kessler, 1996). Nevertheless, also in protected area there is a strong human impact of the local communities living in the high Andes on *Polylepis* forests. Fortunately, they are often situated in isolated rocky areas of difficult access.

Nowadays, the global change affects our planet and causes also changes of the climate resulting in changes in the ecosystems and, of course, in the distribution of plant communities in their habitats. A very notorious example of the climatic change is the retreat of glaciers in the Cordillera Blanca, constantly accelerating during the last thirty years (Castro, 1990; Lick, 2000; INRENA, 2004). It is expected than in 15 to 20 years, the glaciers in altitudes up to 5000 m will completely disappear (Morales, 2001; INRENA, 2004). This phenomenon has motivated different state and foreign institutions to make studies on hydrological dynamics of glaciers in Cordillera Blanca in view to ensure water in the future. These studies also simulated some scenarios of the impact of the climatic change, but studies on movement of plant communities in the mountain ecosystems of the National Park Huascarán have not yet been made. As this climatic change has a sensible impact on the retreat of glaciers, it will also have some effect on the movement of the limit of *Polylepis* forests in the high Andes.

The microbasin of the Quillcay River, which is the object of this study, is a small area within in the National Park Huascarán with *Polylepis* forests and retreating glaciers. As these forests are within a protected area, with minimal human impact, we must ask whether there is any relationship between the retreat of glaciers and the movement of the limit of *Polylepis* forests in the Quillcay basin. Will a movement of these forests bring some risk of soil erosion and loss of biodiversity? Is this risk imminent or not?

This study tries to answer these questions by establishing a system of geographical information allowing to prepare maps showing the distribution of *Polylepis* forests and of glaciers in this area, and that in two different time periods - in the 1960s and in 2006. Superposition of these maps reveals at one hand a significant or not very significant movement of *Polylepis* forests, either their expansion or reduction (and

quantification of these changes in hectares) and on the other hand it enables to obtain a map showing the retreat of glaciers during this period expressed in square kilometres. Analyses of these phenomena have enabled to evaluate possible risks in terms of erosion and loss of biodiversity.

Key words: *Polylepis* – expansion – densification – Quillcay – Cordillera Blanca, Perú

Resumen

Esta investigación hace un estudio del movimiento límite de los bosques de *Polylepis*, analizado a partir de su expansión/reducción, así como su densificación, en relación al retroceso de los glaciares que se viene dando en la microcuenca Quillcay, ubicada en la Cordillera Blanca, provincia de Huaraz, región Ancash. Para ello, se ha analizado si el movimiento de estos bosques para un periodo de 45 años, ha sido significativo o poco significativo, en relación al retroceso glacial acelerado que vienen ocurriendo en la Cordillera Blanca, producto del cambio climático, mediante la sobreposición comparativa de fotografías aéreas de la década de los 60 con una imagen satelital SPOT del año 2006, a través de un sistema de información geográfica. El resultado final son mapas multitemporales donde se hace el análisis del movimiento de los bosques y del movimiento de los glaciares para los años estudiados.

Palabras clave: *Polylepis* – expansión – densificación – retroceso glacial – análisis multitemporal – microcuenca Quillcay – Cordillera Blanca, Perú

1. Introducción

Los bosques de *Polylepis* en los Andes, representan hábitats fragmentados que albergan una gran diversidad de especies de flora y fauna extraordinarias y únicas en ecosistemas de montañas, a altitudes superiores a 3500 m. Estudios realizados han demostrado que a lo largo de cientos de años en los Andes entre Ecuador, Perú, Bolivia, el norte de Argentina y Chile se han diseminado más de veinte especies de *Polylepis* (Kessler, 1995), siendo el Perú el hospedero más diverso del género en el mundo, por hospedar a quince de estas especies; sin embargo, la realidad también nos muestra que el género *Polylepis* ocupa solo el 2% de su distribución potencial en el Perú (Kessler & Driesch, 1993; Kessler, 1995a y b; Fjeldså & Kessler, 1996), habiéndose reducido a consecuencia del uso que el poblador andino le da como fuente energética, material de construcción y por las quemadas que practica en busca de mejorar y/o renovar los pastos alto andinos.

La región Ancash en Perú, territorio sobre el cual recorre la Cordillera Blanca y en el cual se extiende la Reserva de Biosfera “Parque Nacional Huascarán”, reconocido sobre todo, por los glaciares tropicales más altos del mundo, es uno de los pocos refugios donde se halla una buena población de estos bosques, estimado en un 21% del total existente en el Perú, con el nivel más alto de complementariedad de especies de flora y fauna endémicas y especializadas (Fjeldså & Kessler, 1996). No obstante, en esta área protegida, también el impacto humano de las comunidades alto andinas pasadas y presentes sobre los bosques de *Polylepis* es notorio, observándose que han sido aislados a espacios empinados y rocosos, en muchos casos de difícil acceso.

Hoy en día el cambio global que atraviesa nuestro planeta, con sus consecuencias de cambios en el clima, también representa un cambio en los ecosistemas y por supuesto en la distribución de las comunidades vegetales en el territorio donde se encuentran. Un evento muy notorio del cambio climático hasta el momento es el retroceso de los glaciares en la Cordillera Blanca, los cuales vienen reduciéndose a un ritmo acelerado en los últimos treinta años (Castro et al., 1990; Lama, 2000; INRENA, 2004). Se ha estimado que en unos 15 a 20 años, los glaciares por debajo de los 5000 m de altura habrán de desaparecer por completo (Morales, 2001; INRENA, 2004). Este fenómeno ha motivado a diferentes instituciones estatales y extranjeras a hacer estudios de la dinámica hidrológica de los glaciares en la Cordillera Blanca, para anticipar la disponibilidad de agua en el futuro, además de simular algunos escenarios climáticos producto de los cambios de temperatura en el clima; pero aún no se han hecho estudios del movimiento de las comunidades vegetales en los ecosistemas de montaña dentro del Parque Nacional Huascarán, y si este cambio climático con su efecto más notorio en el retroceso glacial, está teniendo y tendrá algún efecto en el movimiento límite de los bosques de *Polylepis* en los altos Andes.

La microcuenca Quillcay, objeto de este estudio, representa un pequeño escenario, inmerso en el Parque Nacional Huascarán, en donde se hallan bosques de *Polylepis* y glaciares en proceso de desglaciación. Considerando que estos bosques están dentro de un área protegida, con un impacto humano mínimo, surgen entonces preguntas como ¿Cuál es la relación entre el retroceso glacial y el movimiento del límite de la vegetación de bosques de *Polylepis* en la microcuenca del Quillcay hasta el momento?, ¿Habrá algún riesgo de erosión de suelos y pérdida de biodiversidad con el movimiento de estos bosques?, ¿Será este movimiento significativo o no hasta el momento?

La investigación intenta llegar a la respuesta de las mismas, mediante el establecimiento de un sistema de información geográfica, que ha permitido obtener mapas, que muestran la distribución de los bosques de *Polylepis* y el área de los glaciares, para dos años diferentes, correspondientes a los años 60 y año 2006, que se presentan por separado; los cuales, mediante sobreposición comparativa, han permitido obtener en un primer caso, un mapa multitemporal que revela el movimiento significativo o poco significativo de los bosques de *Polylepis* analizado en función de su expansión/reducción y densificación, así como su cuantificación en hectáreas; y en un segundo caso, obtener un mapa multitemporal que muestra el retroceso de los glaciares, para este periodo de tiempo, cuantificándose estas áreas glaciares en Km². Los análisis de estas comparaciones, han permitido además, evaluar los posibles riesgos que se pueden ocasionar en términos de erosión y pérdida de biodiversidad.

2. Antecedentes

La Cordillera Blanca, cadena montañosa en el Perú, que posee los glaciares más altos ubicados en latitudes tropicales, en la región Ancash, es parte del Parque Nacional Huascarán, establecido como tal en 1975 y declarado por la UNESCO como núcleo de Reserva de Biosfera del mismo nombre en 1977 y Patrimonio de la Humanidad en 1985. En esta área natural protegida, se han identificado siete zonas de

vida con un amplio espectro de microclimas, que han dado lugar al desarrollo de diversos tipos de vegetación íntimamente ligados entre sí. Uno de los géneros, sobre todo de hábito leñoso mejor representados cerca de los glaciales del Parque Nacional Huascarán es el género *Polylepis*, que se distribuye en bosquetes o de manera aisladas, siempre sobre zonas empinadas y altitudes encima de los 3500 m; este patrón de distribución fue considerado como natural (Weberbauer, 1945; Troll, 1929; Koepcke, 1961; Simpson, 1979 y 1986), sin embargo, se ha demostrado que esta distribución en gran parte, es el resultado de las actividades humanas en los altos Andes, durante miles de años, tales como quemas de pastos altoandinos y la extracción directa de leña (Kessler, 2002).

Los bosques de *Polylepis*, a pesar de las extremas condiciones ambientales a las que se exponen, tales como temperaturas bajas, periodos estacionales secos, bajos nutrientes en los suelos, entre otros, han favorecido en la evolución de especies de plantas con propiedades útiles para el hombre, como por ejemplo tubérculos (papa, olluco, mashua) y otras con propiedades medicinales como especies de *Minthostachys*, *Satureja* y *Baccharis* (Cárdenas, 1989; Beck, 1998). Además estos bosques representan hábitats naturales de una gran variedad de mamíferos, aves e insectos, incluyendo a algunas de las especies de aves más raras del mundo (Fjeldså, 1995; Fjeldså et al., 1999).

Por otro lado también se tiene que indicar, que la evolución del género *Polylepis* muy probablemente haya sido dominada por las marcadas fluctuaciones climáticas durante el período pleistocénico, forzando a las especies a migrar repetidamente a sitios con condiciones ecológicas favorables, así como fragmentando las distribuciones de especies (Fjeldså, 1995; Kessler, 1995a). Actualmente también se vienen dando cambios climáticos sobre los ecosistemas de montaña producto del cambio global, un efecto notorio es el retroceso de los glaciares en la Cordillera Blanca, con las modificaciones del clima, la flora y fauna de las zonas alto andinas (Castro et al., 1990; Lama, 2000; INRENA, 2004).

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), prevé que la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera causará aumentos en las temperaturas globales de 1 a 3.5 grados centígrados durante este siglo. Los modelos de simulación prevén que cada grado de aumento de la temperatura, desplazará la zona de adaptación de especies terrestres unos 125 Km hacia los polos, o 150 m en altitud. Aproximadamente el 30% de la vegetación de la Tierra podría experimentar una transformación como consecuencia del cambio climático (Grupo Crucible II, 1999). En lo que concierne a la Cordillera Blanca, estudios de re-análisis de las temperaturas, entre 1948–2003, basados en registros históricos y mediciones satelitales más recientes, han determinado que esta se ha incrementado en 0.5 °C trayendo como consecuencia el deshielo de los glaciares tropicales y un cambio del régimen hidrológico de las cuencas glaciares (Gallaire et al., 2004). Se estima que hasta el año 2050 las cuencas glaciares mostrarán un buen recurso hídrico, pero pasado este tiempo se irá reduciendo.

Estudios realizados en la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH), del Instituto Nacional de Recursos Naturales, ubicada en la ciudad de Huaraz, la cual, se encarga del monitoreo de glaciares y lagunas en la Cordillera Blanca, de la región Ancash, han determinado que los nevados de esta región, vienen sufriendo un proceso acelerado de desglaciación, por efecto del calentamiento global, que también se ha

venido incrementando, a consecuencia de las actividades humanas modernas. El inventario de Glaciares del Perú, publicado por esta unidad en 1988 menciona una tasa de retroceso anual de los glaciares en 12.5 m de longitud y 2.1 m de altitud, basada en evaluaciones de campo y en algunos casos sobre la base comparativa de aerofotografías (HIDRANDINA, 1988). Así mismo, otro estudio realizado sobre la Cordillera Blanca para un periodo de tiempo entre 1970–1995, concluye que las áreas nevadas se han reducido en un 15.46% (Morales, 2001).

Altón C. Byers, publicó en 1999 un estudio sobre los cambios en el paisaje contemporáneo del Parque Nacional Huascarán y su zona de amortiguamiento. Para ello, se basó en la replicación de un registro de fotografías panorámicas de los años 1932, 1936 y 1939 tomados por las Asociaciones Alpinas Alemana y Austriaca, quienes bajo la dirección del geógrafo austriaco Hans Kinzl, llevaron a cabo tres expediciones a la Cordillera Blanca y la Cordillera Huayhuash con el objeto de realizar exploraciones de alta montaña, investigación y cartografía. Las fotografías de los años 30, fueron repetidas en diez puntos fotográficos por Byers en Setiembre de 1997 y Julio de 1998, quien retornó a los mismos lugares que Kinzl para fotografiar los nuevos escenarios, entre ellos un punto ubicado en la quebrada de Cohup y otro en la quebrada de Shallap, escenarios de la presente investigación. La comparación de estas fotografías, dio como resultado un inminente retroceso glacial durante los últimos 60 años, trayendo consigo la formación de numerosas lagunas proglaciales, una aparente estabilidad y/o incremento de la cobertura de los bosques de *Polylepis sp.*, incrementos regionales significativos en la cobertura de bosques no nativos (*Eucalyptus* y *Pinus*); así como, un incremento de la urbanización en el ámbito regional (Byers, 1999).

3. Área de estudio

Ámbito espacial

La microcuenca Quillcay está localizada en la región Ancash, provincia de Huaraz, entre las coordenadas UTM 221 500 m, 247 480 m Este y 8 943 000 m, 8 963 888 m Sur, datum WGS84. Cuenta con tres quebradas importantes: Cohup, Quellcayhuanca y Shallap (Figura 1). En la parte baja de la microcuenca, se ubica la ciudad de Huaraz, capital de la región Ancash con una población total de 114 297 habitantes según el censo del año 2005 (INEI, 2007). La microcuenca Quillcay abarca una superficie total de 249.50 Km², su altitud varía entre los 3063 a 6309 msnm y a lo largo de cada una de sus tres quebradas se encuentran distribuidos en formas de islas los bosquetes de *Polylepis*.

Geología

La microcuenca presenta la siguiente geología. En las vertientes de la parte media y alta de la cuenca predominan las rocas granodiorita y tonalita del terciario superior (23 millones de años). En la parte baja se encuentran importantes depósitos

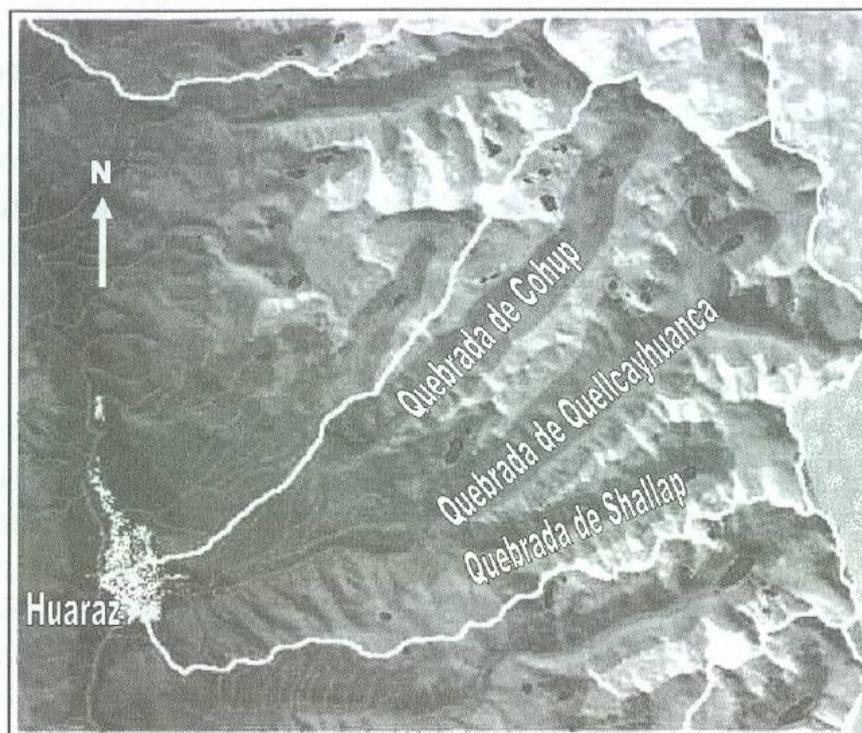


Figura 1 Microcuenca del Quillcay. Fuente: INRENA Ancash, 2003

fluvioglaciares del Holoceno y en algunos sectores afloran las masas de basamento por erosión, particularmente en los cambios de pendientes y lecho menor de las quebradas. Es decir, material morrénico desplazado por los procesos de remoción en masa y por la capacidad de carga de la quebrada Cohup, Quellcayhuanca y Shallap. Otros depósitos cuaternarios de menor área se localizan en los glaciares de la parte alta, próximo a las divisorias de aguas. En este último caso corresponden a depósitos proluviales desplazados a través de la escorrentía glaciar, los movimientos subglaciares y los depósitos morrénicos derivados de la dinámica glaciar en masa en los interfluvios. Estratigráficamente las rocas granodiorita pertenecen al Batolito de la Cordillera Blanca, con foliación bastante general y con alta densidad de diaclasas. (INGEMET, 1995; Meléndez & Alva, 2005; Vilímek et al., 2005).

Geomorfología

La microcuenca morfoestructuralmente forma parte de la Cordillera Occidental y a su vez del sistema plegado de los Andes. Morfológicamente pertenece a la Cordillera Blanca. Las tres quebradas son valles glaciares típicos con recientes procesos de remodelación fluvial, que han dado lugar a la formación de perfiles transversales en forma de U y depósitos glaciares (Meléndez & Alva, 2005; Vilímek et al., 2005).

La geomorfogénesis de la microcuenca se enmarca en los procesos endógenos del Terciario (Batolito de la Cordillera Blanca) y los procesos de modelado glaciar del Cuaternario. En el Pleistoceno, la litología del Terciario estuvo cubierta por los glaciares, este congelamiento del relieve fue interrumpido por los climas cálidos. Registros de retroceso y avances de dichos glaciares en la microcuenca se registran a través de los depósitos morrénicos y las huellas de erosión en las vertientes.

Posteriormente, en el Holoceno, es decir en los últimos 11000 años, se aceleran los procesos erosivos de modelado glacial en la microcuenca, por efectos de la desglaciación cuaternaria y en estos últimos 50 años por efecto del cambio climático. En el plano endógeno conviene agregar el permanente proceso de subducción de la placa de Nasca debajo de la sudamericana, que origina diversos niveles espaciales de peligrosidad sísmica a nivel nacional. Según el mapa de zonificación sísmica del Perú año 2002, el departamento de Ancash se encuentra clasificado como de alta sismicidad. Sobre esto último se tiene como antecedente reciente el sismo del 31 de mayo de 1970, que originó considerables pérdidas humanas y materiales (Meléndez & Alva, 2005; Vilímek 1995).

Suelos

Según el origen, los suelos presentan el siguiente patrón distributivo: suelos aluviales, suelos coluvio-aluviales, suelos fluvio-glaciares, suelos de materiales residuales y suelos antropogénicos. Según el potencial de uso se tienen tierras de protección asociadas con tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con limitaciones por erosión y pendiente; tierras de aptitud forestal de calidad agrológica baja con limitaciones por clima, asociadas con tierras aptas para pastos de calidad agrológica media con limitaciones por erosión y pendiente (Shoobridge, 2005).

Hidrología

Esta cuenca es importante desde el punto de vista de los recursos hídricos, por tener una de las descargas considerables y constantes entre los tributarios del río Santa, así por ejemplo, se ha estimado que entre 1971 a 1978 durante el mes más seco que es Agosto su aporte promedio fue de 3.16 m³/s (Ministerio de Salud, 1981).

Clima

Según la clasificación de Köppen, la parte baja de la microcuenca localizada entre los 3200 a 3500 msnm corresponde al clima frío con precipitaciones en verano, es decir, por lo menos cuatro meses con un promedio de temperatura mayor a 10 °C y con período de lluvias bien marcado entre los meses de Diciembre a Marzo. Entre los 3500 y 5000 msnm, presenta un clima frío de tundra con temperatura media del mes más cálido mayor a 0 °C. Entre los 5000 y 6200 msnm el clima es de nieve perpetua de alta montaña; es la zona de glaciares de montaña tropical alimentados por precipitaciones en estado sólido como nieve que se acumula a temperaturas ambientales negativas (IGN, 1989).

El área de influencia de la investigación, pertenece a la vertiente del Pacífico. El régimen de avenidas es gobernado principalmente por la orografía propia de la cordillera de los Andes. En Huaraz se ha registrado en un periodo de 1953–1993 una precipitación media de 754 mm, caracterizada por dos temporadas bien marcadas: la temporada seca, de Mayo a Septiembre (0.2% de precipitación), donde la precipitación es casi nula, y la temporada de lluvias, de Octubre a Abril (60% de precipitación) (SA & ESA, 1998).

Registros de temperatura en la ciudad de Huaraz, para un periodo de tiempo entre 1978–1999, señalan que la temperatura mensual fluctúa entre los 14 °C a 15.5 °C (Vignon, 2002). Por otro lado, estudios de re-análisis de las temperaturas, encima de la Cordillera Blanca a 6000 msnm, entre 1948–2003 (Figura 2), obtenida a partir de datos históricos y mediciones satelitales recientes, revelan que la temperatura se ha elevado en 0.5 °C; así mismo, los proyecciones hechas para los años venideros indican que esto ira en aumento con sus consecuencias de retroceso en los glaciares tropicales y cambios en el régimen hidrológico de las cuencas glaciares que van a dar un buen recurso hídrico en los próximos 50 años, pero después del 2050 se irán reduciendo, mientras que las poblaciones estarán acostumbradas a usar más agua (Gallaire et al., 2004).

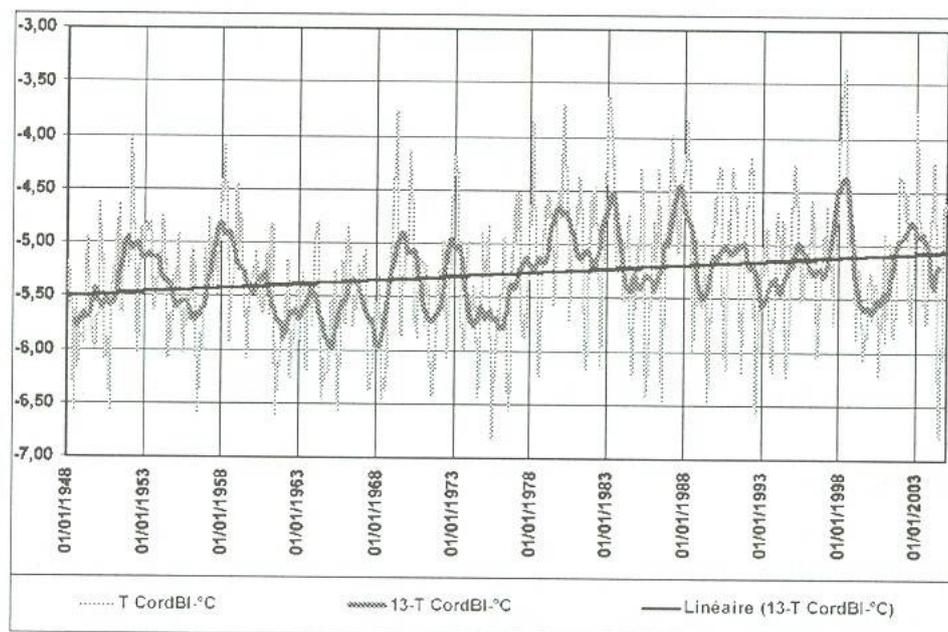


Figura 2 Temperaturas de re-análisis en la Cordillera Blanca. Fuente: Gallaire et al.

Flora

La vegetación es variada debido a las diferentes zonas de vida existentes, según el sistema Holdridge (MINAG, 1990). La zona de estudio se caracteriza por la presencia de: *Polylepis* sp (quenual), *Stipa ichu* (ichu), *Braccharis* sp (taya), *Belloa longifolia* (flor blanca), *Paranephelius uniflores* (flor amarilla), *Urtica* sp (shinua u ortiga), *Perezia multiflora* (escorzonera), *Perezia pinnatifida* (escorzonera de laguna), *Polistichium* sp (helecho), *Distichia muscoides* (champa), *Plantago rigida* (champa estrella), *Krapfia aff weberbauerii* (rima rima), *Mutisia mathewsii* (siete sabios), *Baccharis genistelloides* (Karkeja) y otras especies no reconocidas.

Avifauna de los bosques de *Polylepis*

En un estudio realizado por el Zoological Museum University of Copenhagen, en la quebrada de Shallap, parte del área de esta investigación, se encontró 19 especies de aves. Entre estas especies se tiene: *Buteo polyosoma*, *Falco sparverius*, *Caprimulgus longirostris*, *Patagona gigas*, *Oreotrochilus estella*, *Aglaeactis cupripennis*, *Metallura*

phoebe, *Upucerthia jelskii*, *Grallaria andicola*, *Muscisaricola alpina*, *Polioxolmis rufipennis*, *Ochthoeca oenanthoides*, *Troglodytes aedon*, *Xenodacnie parina*, *Diglossa brunneirentis*, *Sicalis olivascens*, *Phrygilus punensis*, *Phrygilus plebeyus* y *Phrygilus unicolor* (Frimer & Moller, 1989).

4. Materiales

Los materiales que se usaron para el desarrollo de esta investigación son: imagen de satélite SPOT ortorectificada, de fecha 17 de Agosto del 2006, con una resolución de 5x5 metros y combinación de bandas RGB. Mosaico de fotografías aéreas ortorectificadas correspondiente a los años 60: cuatro de ellas de fecha 19 de Junio de 1962; uno del 5 de Julio de 1962; uno del 12 de Julio de 1962 y dos del 23 de Mayo de 1963. Mapas temáticos en formato digital: hidrológico, limítrofe, urbano, entre otros. Además también se empleo el software de Sistemas de Información Geográfica "GeoConcept versión 6.0", así como equipo de campo: Brújula (Brunntun), altímetro, GPS (Garmin 76), binoculares y cámara fotográfica digital.

5. Metodología

Establecimiento del SIG para la distribución del *Polylepis*

a) Objetivo de la base de datos georeferenciados – El objetivo fue obtener mapas de la distribución de los bosques de *Polylepis* y del área glaciar, correspondiente a los años 60 y el año 2006, para luego mediante sobreposición comparativa tener como resultado mapas multitemporales, que permitirían el análisis del movimiento de los bosques y los glaciares.

b) Recopilación de la información – Consistió en la recolección de fotografías aéreas e imágenes satelitales en diferentes instituciones de Lima y Ancash; así como, la recopilación de información temática digital sobre: zona urbana, hidrografía, límites, entre otros.

c) Análisis y selección de la información – Se selecciono las fotografías aéreas e imagen satelital definitivas a usar en este estudio, además de establecer la escala de trabajo de 1:120 000.

d) Diseño de la base de datos – Consistió en determinar los mapas temáticos a desarrollar. Para este estudio, se escogió los siguientes temas: bosques de *Polylepis*, límite de la cuenca, límite del Parque Nacional Huascarán, lagos, río principal, ríos secundarios, área glaciar y zona urbana.

En el caso específico de los bosques de *Polylepis*, ésta capa temática fue clasificada en 3 tipos: bosque denso, bosque semidenso y bosque ralo, en base a los criterios que se presentan en el Cuadro 1 y que han servido para la interpretación visual de las fotografías aéreas y la imagen satelital. Es necesario mencionar, que estos criterios de clasificación es una propuesta que sugiero en este estudio, en un intento de hacer una diferenciación de bosques de *Polylepis* al momento de hacer la interpretación, debido a que no existen otros criterios de clasificación hecho por otros autores para estos

Cuadro 1 Criterios de clasificación de los bosques de *Polylepis*

Criterio	Bosque		
	Denso	Semidenso	Ralo
Densidad aproximada (individuos/ha)	10 000	1000	100
Grado de fragmentación	Bajo	Mediano	Alto
Tamaño de la unidad	Grande	Mediano	Pequeño
Tonalidad del color en la fotografía e imagen satelital	Intenso	Intermedio	Tenue

Fuente: Elaborado por el autor

bosques. También es importante señalar que estos bosques de *Polylepis* son homogéneos y su identificación en las fotografías aéreas e imagen satelital frente a otras coberturas vegetales es relativamente sencilla.

e) Ingreso y edición de la información – Se realizó la digitalización de los temas: distribución de los bosques de *Polylepis*, límite de la cuenca, límite del Parque Nacional Huascarán, área glaciár, etc., para cada una de las imágenes (fotografías aéreas e imagen satelital), utilizando para ello, el software GeoConcept versión 6.0.

f) Salida preliminar de la información – La unión de las capas temáticas digitalizadas para cada una de las imágenes trabajadas, dio como resultado la salida de mapas preliminares, que permitieron conocer la distribución de los bosques de *Polylepis* y la extensión del área glaciár, para los años 60 y 2006. Esta información fue impresa para la verificación en campo, sobre todo de los bosques por su relativa accesibilidad pero no así para los glaciares.

g) Trabajo de campo – Con el objeto de asegurar la interpretación visual de los bosques de *Polylepis* hecha en las fotografías aéreas y la imagen satelital, además de completar algunos vacíos de información generados en la interpretación, se hizo trabajo de campo, el cual, consistió en hacer un recorrido de las 3 quebradas de la microcuenca, por lugares accesibles y verificar visualmente el mayor número de bosquetes de *Polylepis* que fueron cartografiados en los mapas preliminares. Este trabajo permitió corregir los errores en los mapas de distribución de los bosques y asegurar la buena interpretación de las imágenes. En el caso de los glaciares no se hizo ninguna verificación en campo por el grado de dificultad en su accesibilidad. Complementario a este trabajo y para enriquecer la investigación, se hicieron observaciones de campo para recoger datos de altitud y pendiente sobre las que se distribuyen los bosques de *Polylepis*, además de datos de algunas especies de flora y avifauna que constituyen su biodiversidad; estos datos, se describen en los resultados.

h) Resultado final de la información – Luego de concluido el trabajo de campo y ajustado las incongruencias encontradas en los mapas preliminares para los bosques, el resultado final que se obtuvo fue los mapas de distribución de los bosques de *Polylepis*, para los años 60 y 2006; así como, los mapas del área glaciár para estos mismos años, los mismos que fueron cuantificados para determinar sus extensiones expresado en hectáreas y Km² respectivamente. La sobreposición comparativa de estos mapas, dio como resultado un mapa multitemporal de distribución de los bosques de *Polylepis* donde se compara y hace el análisis del movimiento de estos bosques entre

los años 60 y el año 2006 y otro mapa multitemporal que muestra el retroceso de los glaciares durante este periodo de tiempo. Es preciso aclarar en este punto, que para la sobreposición de los mapas de bosques de *Polylepis* se tuvo que reclasificar los bosques en: bosques de los años 60 y bosques del año 2006. Esta reclasificación incluyo solo los bosques densos y semidensos de cada año, dado que el bosque ralo no fue posible compararlo, debido a la gran diferencia encontrada en la interpretación. En el caso del área glaciar, solo se renombro como: área glaciar de los años 60 y área glaciar el año 2006 para los fines de comparación.

i) Salidas de información – La edición y presentación final de cada uno de los mapas obtenidos, listos para su impresión o salida, se realizaron a través del software GeoConcept versión 6.0.

Análisis de sobreposición comparativa

El objetivo de la sobreposición comparativa fue establecer si en el periodo de estudio ha existido una relación significativa o poco significativa entre el retroceso glaciar y el movimiento límite de los bosques de *Polylepis*; para ello, se hizo primero un análisis espacial de los bosques, en función de su expansión/reducción, además de su densificación, mediante la comparación y observación de los mapas de distribución de los *Polylepis* de los dos años estudiados. Este análisis del movimiento de los boques, permitió también evaluar los riesgos que puede representar dicho movimiento en términos de erosión y pérdida de biodiversidad sobre la microcuenca. Como segundo análisis se hizo la comparación de los mapas correspondientes al área glaciar, para determinar el retroceso ocurrido en el periodo de estudio. Finalmente se hizo la comparación entre el movimiento de los boques y el movimiento de los glaciares, el cual determinó si ha existido una relación significativa o poco significativa entre ambos movimientos.

6. Resultados

Descripción de los bosques de *Polylepis*

Al hacer la cartografía de los bosques de *Polylepis*, tanto de los años 60 como del año 2006, se identificaron 3 tipos de bosque: bosque denso, bosque semidenso y bosque ralo; estos se describen a continuación y su cartografía se presenta en las Figuras 5 y 6.

a) Bosque denso – Comprende los bosques de *Polylepis*, que se caracterizan por presentar una densidad aproximada de 10 000 individuos/ha, con grado de fragmentación muy bajo, tamaño grande y tonalidad del color intenso en las imágenes trabajadas, que las distingue fácilmente de otras coberturas vegetales. En base a la cartografía hecha, en los años 60 el bosque denso cubría un área aproximada de 162 ha y para el año 2006 se extendía sobre 261 ha aproximadamente, dentro de toda la microcuenca Quillcay.

De los datos recogidos en campo se observó que la especie que domina este tipo de bosque es *Polylepis weberbaueri*, de arbolillos achaparrados que miden entre 2 a 4 metros y folios menudos, localizados a altitudes que varían de 3900 a 4600 msnm y con pendientes que oscilan entre 30% a 85%. Asociado a estos bosques que por lo general son homogéneos, se puede encontrar vegetación arbórea como *Gynoxis* en pequeñas cantidades; arbustiva tales como: *Berberis lutea*, *Monnina*, *Barnadesia dombeyana*, *Brachyotum* y *Lupinus*, además de herbáceas: *Mutisia mathewsii*, *Gentianella*, *Arcytophyllum* y *Werneria nubigena*. También se hallan especies de aves como: *Buteo polyosoma*, *Metallura phoebe*, *Sicaris olivascens*, *Grallaria andicola*, *Patagona gigas*, *Troglodytes aedon*, entre otros.

b) Bosque semidenso – Se clasificó como bosques semidensos a aquellos cuya densidad alcanzaba los 1000 individuos/ha aproximadamente, con grado de fragmentación mediano del bosque, de tamaño mediano y tonalidad en el color intermedio en las imágenes. Se ha estimado de la cartografía hecha, que para los años 60 el bosque semidenso cubría una extensión de 104 ha y para el año 2006 un área aproximada de 180 ha.

Las observaciones de campo indican la presencia de especies de *Polylepis weberbaueri* y *Polylepis sericea*, ubicadas preferentemente en terrenos con pendientes que varían entre los 60% a 85%, no obstante, también hay algunas áreas en las partes bajas de las quebradas con pendientes de hasta 30%. Su rango de altitud es muy similar al de los bosques densos variando entre los 3900 a 4600 msnm. Los individuos llegan a medir de 2 a 3 metros de altura y las especies vegetales y de aves asociadas a estos bosques son idénticas a los que se describen en el bosque denso.

c) Bosque ralo – Estos bosques de *Polylepis*, están conformados por árboles muy dispersos, cuya densidad aproximada alcanzan los 100 individuos/ha o hasta menos, un grado de fragmentación alto, además de presentar un tamaño pequeño y tonalidad tenue en las imágenes interpretadas. Debido a lo difícil que es identificarlos en las fotografías aéreas por el grado de resolución, para ser comparadas luego con lo interpretado en la imagen satelital, no se ha podido estimar el área aproximada correspondiente a los años 60; sin embargo, en la imagen satelital del año 2006 se ha podido calcular que se extendía sobre un área aproximada de 96 ha.

Cuadro 2 Extensión de los bosques de *Polylepis*

Tipo de Bosque	Área del bosque (ha)	
	Años 60	Año 2006
Bosque denso	162	261
Bosque semidenso	104	180
Bosque ralo	*	96

Fuente: Elaborado por el autor

* El bosque ralo no ha sido determinado en los años 60, debido a su difícil interpretación en las fotografías aéreas.

De las observaciones de campo se ha identificado que la especie más frecuente del bosque ralo es *Polylepis weberbaueri* localizado a diferentes altitudes de las quebradas, entre los 3850 a 4700 msnm y en diferentes tipos de pendientes, también de manera muy aislada se ha observado algunos individuos de *Polylepis racemosa*, ubicados al inicio de las quebradas. La vegetación y avifauna asociada a esta vegetación es muy poca con presencia sobre todo de pastos naturales.

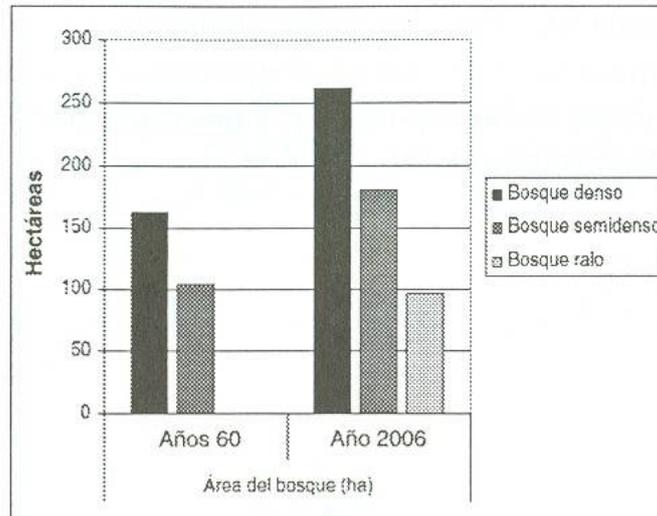


Figura 3 Extensión de los bosques de *Polylepis* en los años 60 y año 2006. Fuente: Elaborado por el autor

Descripción de los glaciares

Los glaciares, representan las áreas con nieve perpetua, localizados por encima de los 5000 msnm, donde no existe presencia de vida vegetal y animal. Se ha determinado de la cartografía hecha, que el área de los glaciares en esta microcuenca para los años

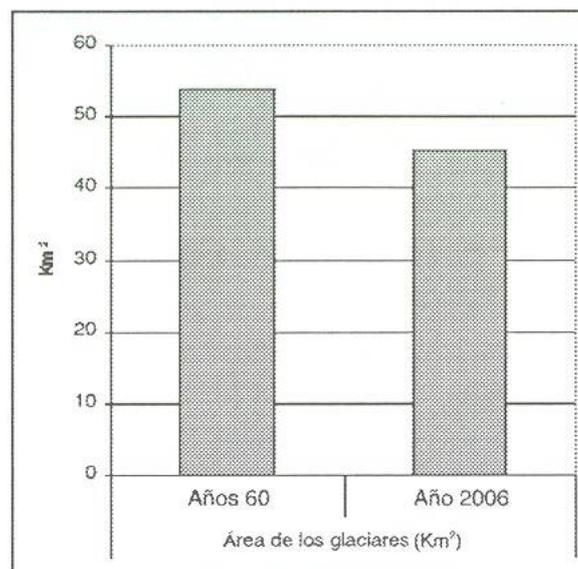


Figura 4 Extensión de los glaciares en la microcuenca Quillcay en los años 60 y año 2006. Fuente: Elaborado por el autor

Cuadro 3 Extensión de los glaciares

Área de los glaciares (Km ²)	
Años 60	Año 2006
53.8	45.3

Fuente: Elaborado por el autor.

60 cubría una extensión de 53.8 Km², habiéndose reducido a un área de 45.3 Km² para el año 2006, a consecuencia de cambios en la temperatura en la Cordillera Blanca. Este retroceso se puede observar en las Figuras 7 y 8 que corresponden al área glaciar de los años 60 y año 2006 respectivamente.

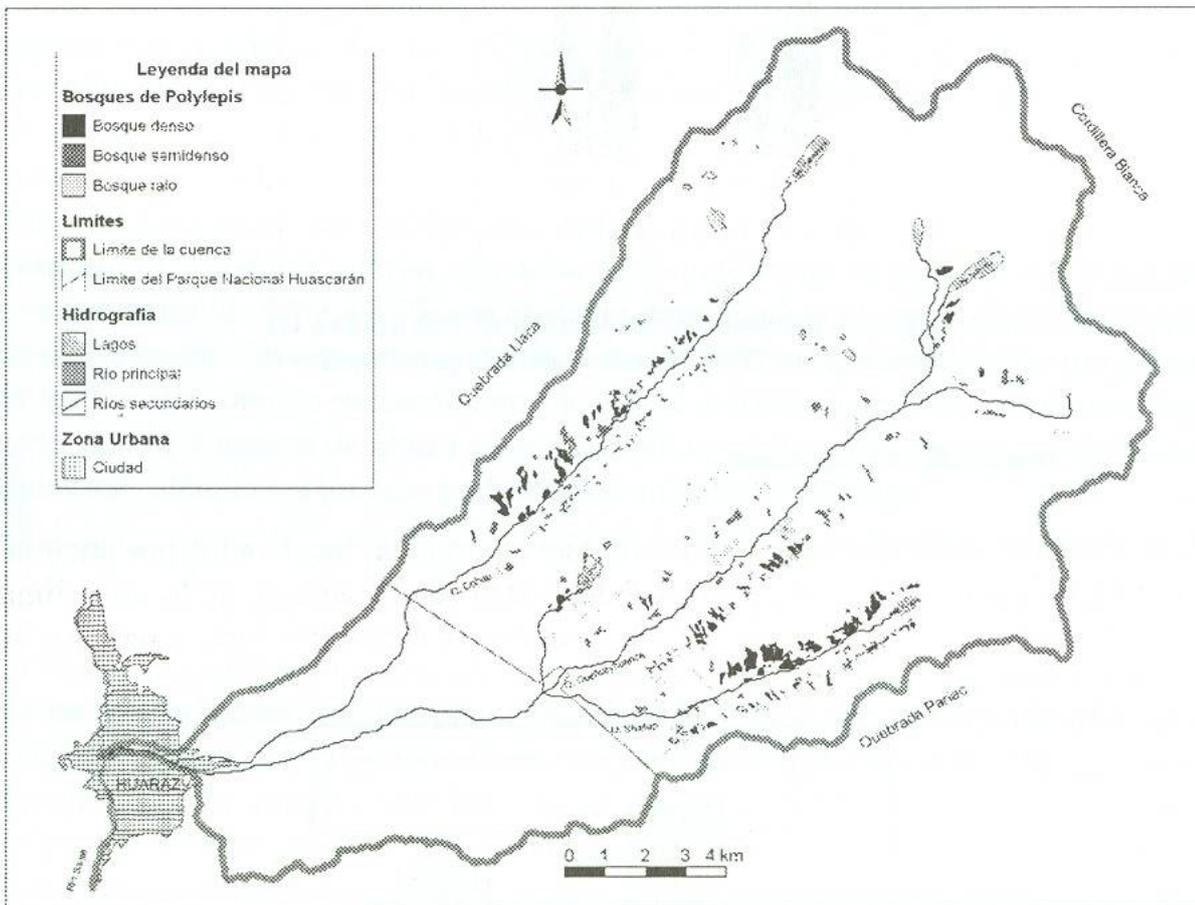


Figura 5 Mapa de distribución de los bosques de *Polylepis* en la microcuenca Quillcay, años 60.

Fuente: Elaborado por el autor

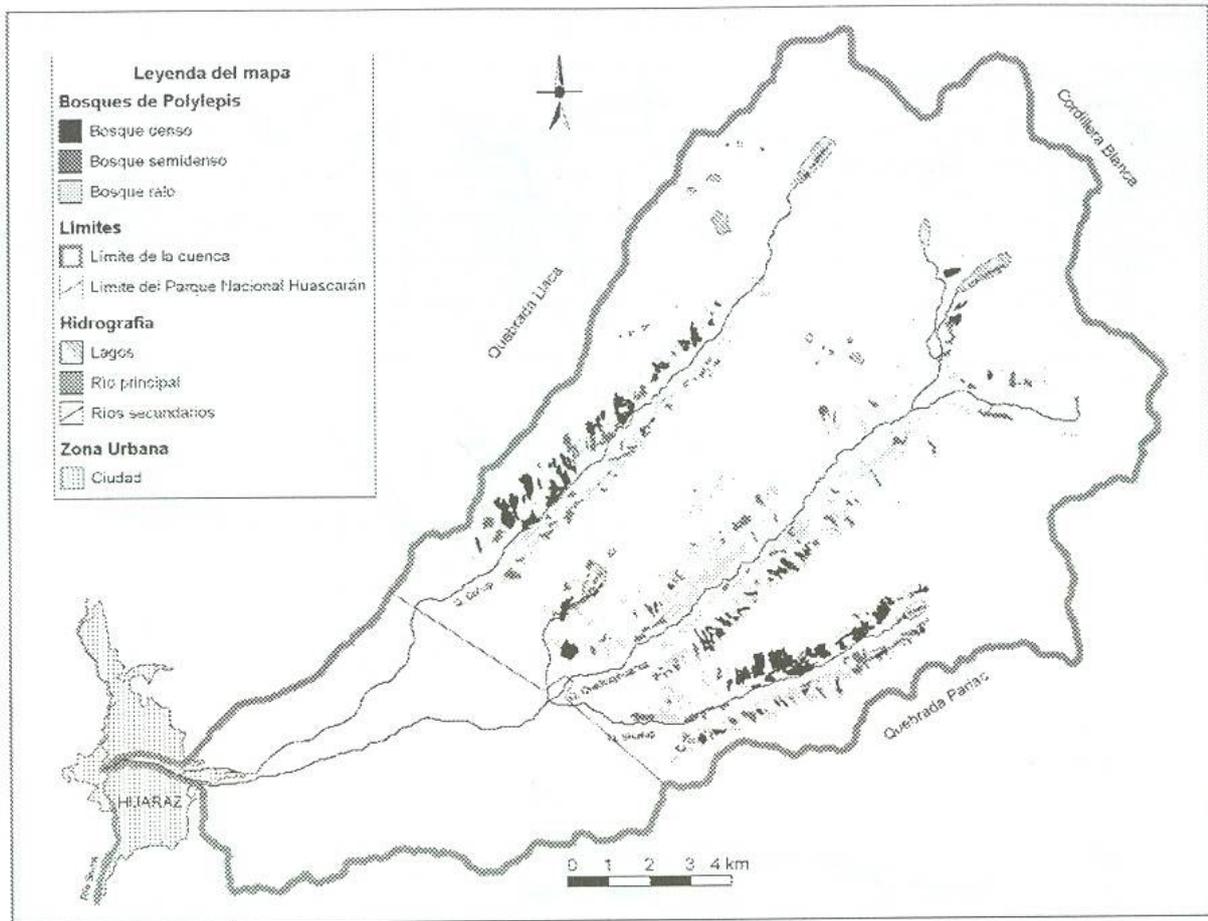


Figura 6 Mapa de distribución de los bosques de *Polylepis* en la microcuenca Quillcay, año 2006. Fuente: Elaborado por el autor

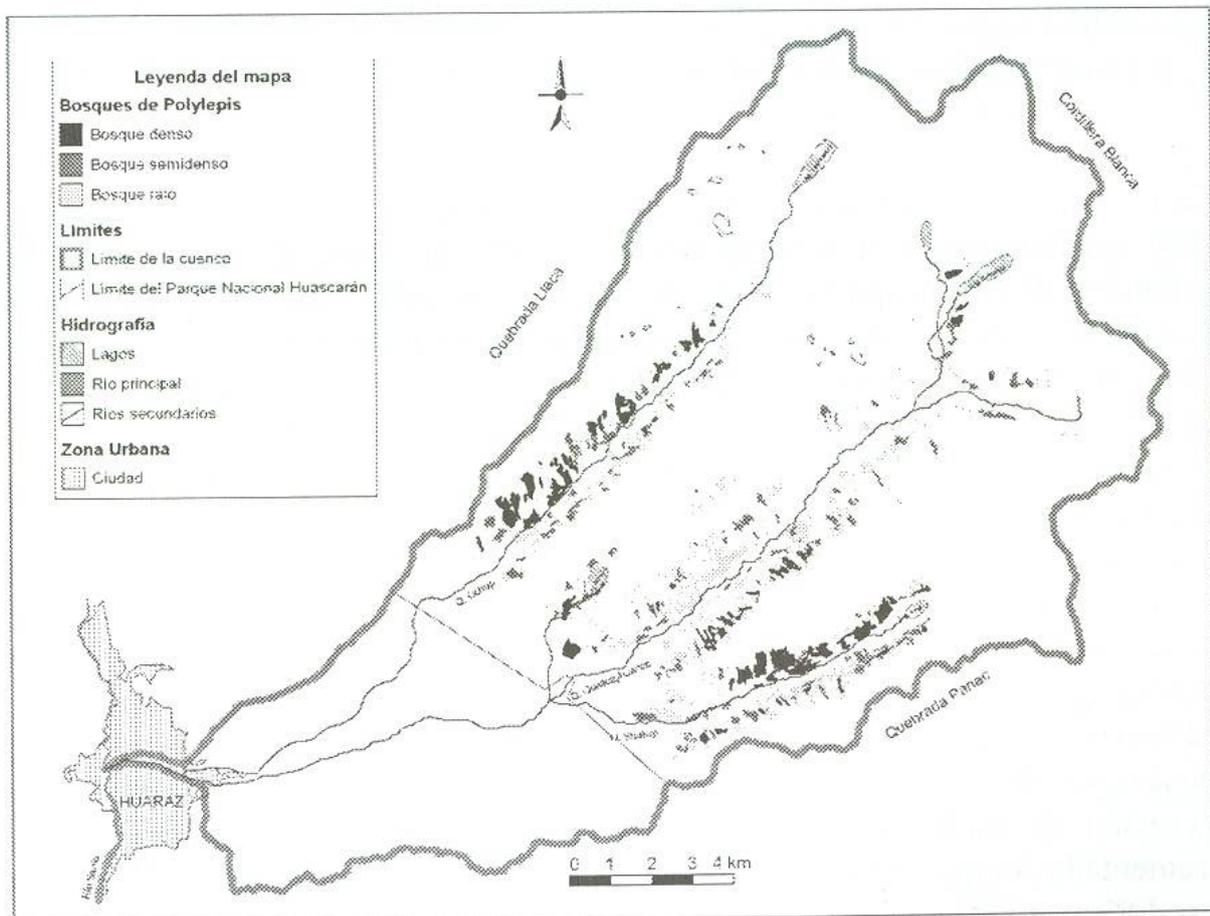


Figura 7 Mapa del área glaciaria en la microcuenca Quillcay, años 60. Fuente: Elaborado por el autor

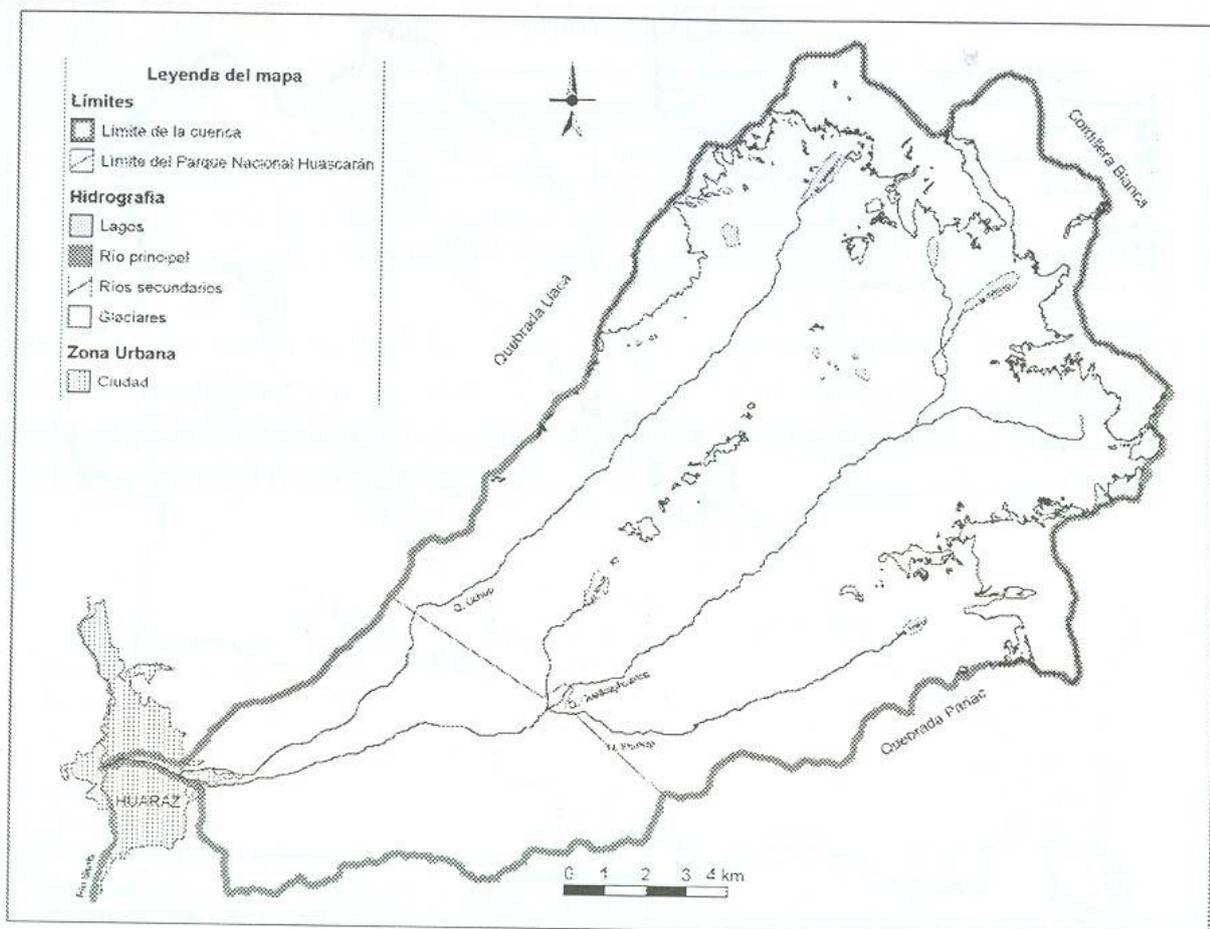


Figura 8 Mapa del área glaciar en la microcuenca Quillcay, año 2006.
Fuente: Elaborado por el autor

Análisis del movimiento de los bosques de *Polylepis*

a) *Expansión/reducción de los bosques de Polylepis*

Del análisis espacial correspondiente a la sobreposición de mapas de la distribución de los bosques de *Polylepis* de los años 60 y 2006, se puede apreciar, que estos bosques no han tenido un movimiento significativo de gran expansión, que los hayan llevado a ocupar espacios superiores o áreas libres adyacentes a los bosques que ya existían en las quebradas, tampoco se ha tenido una reducción pronunciada de los rodales de *Polylepis* en toda la microcuenca Quillcay como efecto del retroceso glaciar; lo que se puede observar, es que las áreas ya existentes de bosques en los años 60 han sufrido una ligera expansión sobre sus mismas áreas en algunos metros, tal como se puede apreciar en la Figura 9. La evaluación final de esta ligera expansión, me permite calificarla como positiva y en efecto, esto también significa, que hasta este momento las especies de flora y fauna que conforman la biodiversidad de estos bosques de *Polylepis* en la microcuenca Quillcay, no se han visto seriamente amenazadas por efectos del retroceso glaciar; así mismo, los riesgos de erosión de suelos sobre estas áreas ya ocupadas por la especie no se han incrementado, lo que significa a su vez un mejor ciclo de nutrientes y retención de los sedimentos.

Cuadro 4 Expansión de los Bosques de *Polylepis*

Tipo de Bosque	Área (ha)		Expansión	
	Años 60	Año 2006	ha	%
Bosque denso	162	261	99	38
Bosque semidenso	104	180	76	42
Total	266	441	175	40

Nota: el bosque ralo no está considerado en el análisis porque no se pudo hacer su correcta interpretación en las fotografías aéreas

Fuente: Elaborado por el autor

b) *Densificación de los bosques de Polylepis*

Además del análisis espacial donde se observa que las áreas de bosques han sufrido una ligera expansión sobre las mismas áreas que ya presentaban para los años 60, se puede observar también que algunas áreas de bosques de *Polylepis* que antes estaban fragmentadas, ahora presentan áreas más espesas o tupidas; lo que significa también, que ha ocurrido una densificación de la especie; es decir, el número de individuos de *Polylepis* por hectárea se ha incrementado, para un periodo de 45 años en la microcuenca Quillcay.

Análisis del movimiento de los glaciares

La sobreposición comparativa entre el mapa del área glaciaria de los años 60 y el mapa del área glaciaria del año 2006, tuvo como resultado un mapa multitemporal que se presenta en la Figura 10; donde se puede apreciar claramente, que para este periodo de estudio, los glaciares en la microcuenca Quillcay han sufrido un cambio significativo en sus superficies heladas. La cuantificación de este retroceso glacial se presenta en el Cuadro 5, donde se ha estimado un retroceso del 16% de los glaciares.

Cuadro 5 Pérdida del área glaciaria

Área de los glaciares (Km ²)		Retroceso de los glaciares	
Años 60	Año 2006	Km ²	%
53.8	45.3	8.5	16

Fuente: Elaborado por el autor

Este retroceso vertical ascendente de los glaciares, por lo que se observa, no ha provocado movimientos drásticos en los bosques de *Polylepis* y en su distribución, durante este periodo de estudio; dicho resultado, revela que la relación entre el retroceso de los glaciares y el movimiento límite de los queñuales, ha sido hasta el momento poco significativo.

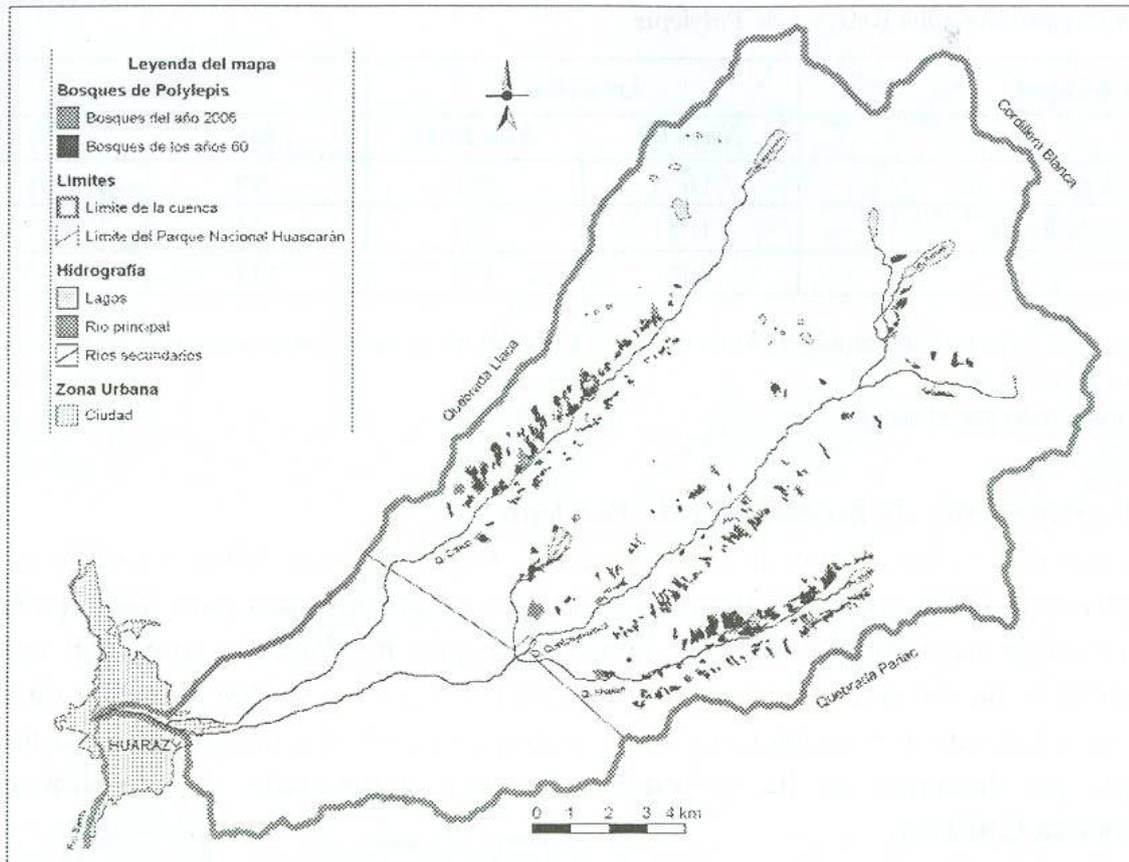


Figura 9 Mapa multitemporal de la distribución de los bosques de *Polylepis*, años 60 y 2006.
Fuente: Elaborado por el autor

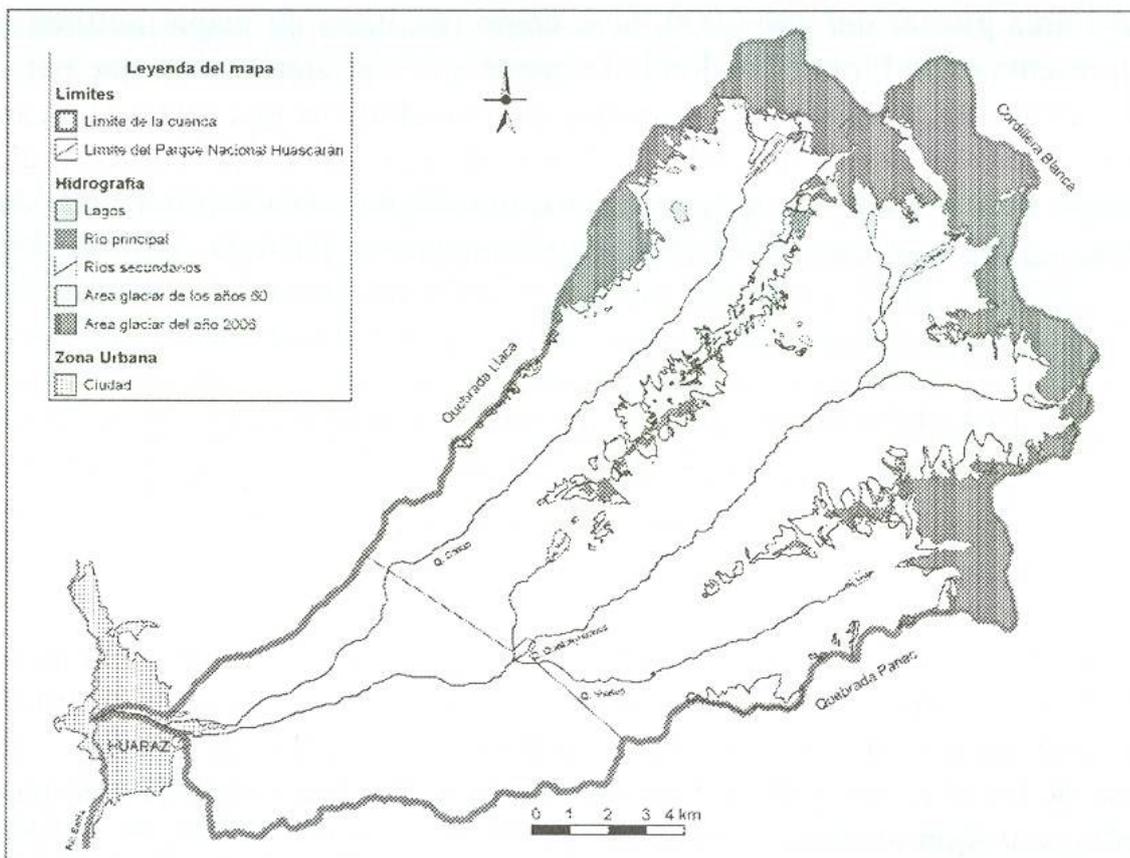


Figura 10 Mapa multitemporal de la cobertura del área glaciaria, años 60 y 2006.
Fuente: Elaborado por el autor

7. Discusión

Sobre el movimiento de los bosques de *Polylepis*

Los resultados obtenidos muestran que los bosques de *Polylepis* en su conjunto han sufrido una expansión en hectáreas del 40% aproximadamente; este resultado también coincide con las observaciones hechas por Altón Byers (1999), quien habiendo hecho un estudio sobre los cambios en el paisaje contemporáneo del Parque Nacional Huascarán y su zona de amortiguamiento, mediante fotografías panorámicas y observaciones de campo llegó a concluir que los bosques de *Polylepis* presentaban una aparente estabilidad y/o incremento de su cobertura.

El análisis de sobreposición comparativa de los mapas de distribución de los bosques de *Polylepis*, ha permitido determinar, que para este periodo de tiempo en la microcuenca Quillcay dichos bosques no han sufrido un movimiento significativo de expansión o reducción de sus áreas; es decir, no se ha observado que la especie haya ocupado espacios superiores o adyacentes de forma significativa, tampoco ha existido una reducción pronunciada de las áreas; este resultado, no coincide con algunos modelos de simulación que prevén el movimiento de las especies terrestres en 150 m en altitud, producto del cambio climático (Grupo Crucible II, 1999), posiblemente ésta contradicción se debe a que el estudio ha abarcado un periodo de tiempo muy corto en relación a los modelos realizados y también a la escala de trabajo que es bastante reducida con respecto a un modelo más global.

La expansión de los bosques de *Polylepis*, sobre áreas donde ya existían desde los años 60, además de una menor fragmentación que se observa en algunas áreas, muestran claramente que estos bosques han sufrido una densificación, estando este resultado, igualmente que el caso anterior, de acuerdo con lo observado por Altón Byers (1999). Los bosques de *Polylepis* alcanzan una mayor densificación en suelos con alto contenido de materia orgánica formada por los mismos árboles, además de requerir buen nivel de humedad en el suelo (Fjeldså & Kessler, 1996; Zuñiga, 2001), es así, que en este estudio se observa claramente que algunas áreas que antes estaban fragmentadas, ahora presentan una cobertura más espesa o tupida, debido a las condiciones de materia orgánica y humedad que ofrece el mismo interior de los bosques. También en el caso de estos bosques residuales lo usual es que sean masas puras y dominantes, no obstante hay especies arbóreas y arbustivas asociadas con ellas, que disminuyen con la altura (Kessler, 1995a y 2006).

Sobre el retroceso glacial

Como se ha podido observar en los resultados obtenidos, el área glacial en esta microcuenca ha sufrido una reducción de sus áreas nevadas en un 16%, para un periodo de tiempo de 45 años. Este resultado no está lejano a lo obtenido por Morales Arnao (2001), donde encontró un retroceso de los glaciares en la microcuenca Quillcay de 12,4%, para un periodo comprendido entre el año 1970 y 1995. Los resultados también coinciden con las observaciones hechas por Altón Byers (1999), quien en base a la comparación de fotografías panorámicas de los años 30 con

fotografías de los años 90 sobre las quebradas de Cohup y Shallap, concluyo un inminente retroceso glacial durante los últimos 60 años. El retroceso de los glaciares en la Cordillera Blanca, viene siendo medido por profesionales de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos del INRENA en la región Ancash (HIDRANDINA, 1988; Lama, 2000; INRENA, 2004) quienes han hecho mediciones de varios frentes glaciares; todos sus resultados indican un retroceso glacial pronunciado durante los últimos 30 años, los cuales coinciden igualmente con los resultados de esta investigación. Obviamente el factor que ha determinado este retroceso, es el aumento de temperatura sobre la Cordillera Blanca, la cual se ha incrementado en 0.5 °C según mediciones y estimaciones de re-análisis de la temperatura hechas desde el año 1948 al año 2003 (Gallaire et al., 2004). La principal causa de este aumento en la temperatura está relacionada con el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera del planeta, que está trayendo como consecuencia cambios climáticos a nivel global (Grupo Crucible II, 1999).

Factores y su influencia en relación con el movimiento de los bosques de *Polylepis*

a) Relación con el retroceso glacial

Los resultados de esta investigación muestran que a pesar de que ha habido un retroceso glacial pronunciado durante los últimos 45 años en la microcuenca Quillcay, producto de los cambios en el clima, este no ha tenido un efecto muy significativo en el movimiento de los bosques de *Polylepis* hasta este momento; sin embargo, las predicciones muestran que la temperatura sobre la Cordillera Blanca (Gallaire et al., 2004) y la temperaturas a nivel global (Grupo Crucible II, 1999) irán aumentando en este siglo, trayendo cambios en la disponibilidad de agua, el régimen hidrológico de los ríos y los ecosistemas de montaña. Por lo tanto, para este periodo de tiempo, se puede decir, que los cambios en el clima han tenido efectos muy significativos en el retroceso de los glaciares, pero no así en el movimiento de los bosques de *Polylepis* que se encuentran en la microcuenca Quillcay.

b) Relación con el área natural protegida

Los resultados de esta expansión y densificación de los bosques de *Polylepis* en la microcuenca Quillcay, hacen suponer también, que este efecto a sido posible gracias a la creación del Parque Nacional Huascarán (D.S. N° 0622-75-AG, 1975) y al establecimiento de su zona de amortiguamiento (Resolución Jefatural N° 317-2001-INRENA), que ha permitido en alguna forma, primero un control más adecuado de la influencia humana, causante principal de la reducción de estos bosques a lo largo de los altos Andes (Kessler, 2002) y segundo la protección de estos hábitats y su biodiversidad, sobre todo de aves especialistas que habitan en estos bosques de *Polylepis*; factor biótico importante, que puede haber influido en la propagación de la especie mediante el traslado de semillas y esquejes dentro los mismos bosques o al contorno de ellos (Funk et al., 1995); que favorecidos por la presencia de materia orgánica generada por los bosques y la humedad que estos mantienen (Fjeldså & Kessler, 1996; Zuñiga, 2001), han dado lugar a la generación de nuevos individuos.

Especulaciones

A una escala más global de lo que se predice y de acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se puede especular lo que se irá dando en los próximos años en los ecosistemas de montaña en zonas tropicales.

Cuadro 6 Cambios a corto, mediano y largo plazo en ecosistemas de montaña

Parámetro	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Temperatura promedio anual	Incremento de temperatura en orden de 0,5 grados por cada 30 años	Aumento de la temperatura en 1 a 2 grados	Aumentos en la temperatura de 2 a 3 grados
Reducción del área glaciar	De acuerdo a los resultados obtenidos y a otros estudios, seguirá una reducción pronunciada	La mitad de los glaciares tropicales se perderán a mediados de este siglo	Se estima que se perderán los glaciares tropicales
Disponibilidad de agua	Aumento del recurso hídrico en los ríos producto de la fusión de los glaciares	Déficit de agua sobre todo en los meses de estiaje	Escasez de agua
Movimiento de los bosques de <i>Polylepis</i>	Los cambios en el clima a corto plazo no tienen un efecto significativo en el movimiento de los bosques	El déficit en la disponibilidad de agua generaría un efecto inverso de reducción de los bosques	Fragmentación de los bosques y reducción significativa de su extensión
Biodiversidad	Estabilidad aparente de los ecosistemas y sus especies de flora y fauna	Perdida de especies de flora y fauna especialistas	ecosistemas y extinción de las especies de flora y fauna especialistas

Fuente: Elaborado por el autor

8. Conclusiones

La investigación ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se ha perdido aproximadamente un 16% de los glaciares en la microcuenca Quillcay, con un retroceso de sus superficies a pisos altitudinales más altos; sin embargo, este retroceso, no ha provocado movimientos significativos de expansión o reducción de los bosques de *Polylepis*, lo que significa, que la relación entre el retroceso de los glaciares como efecto del cambio climático y el movimiento de estos bosques ha sido hasta el momento poco significativo.
- Los bosques de *Polylepis*, en su conjunto han sufrido una expansión de su área en aproximadamente 40% en los últimos 45 años en la microcuenca Quillcay; esta expansión se ha dado, sobre todo en áreas donde ya existían los bosques desde los años 60 y no sobre pisos superiores o zonas libres adyacentes a estos bosques.
- La expansión de los bosques de *Polylepis* sobre sus mismas áreas, así como la menor fragmentación observada de algunas áreas, significa que en estos bosques de altura de la microcuenca Quillcay han sufrido una densificación, entendiéndose esto como un incremento del número de individuos por hectárea de bosque.

- Se puede inferir que la creación del Parque Nacional Huascarán ha podido influir en la expansión y densificación de los bosques de *Polylepis* en la microcuenca Quillcay, este suceso podría estar sujeto a factores como el control del impacto humano y la propagación de la especie dentro y al contorno de los mismos bosques por aves especialistas que los habitan.
- La expansión y densificación de los bosques de *Polylepis*, en la microcuenca Quillcay, son un indicador de que las especies de flora y fauna que conforman su biodiversidad, no se han visto seriamente amenazadas por efectos del cambio climático hasta el momento; así mismo, los procesos de erosión sobre estas áreas ocupadas por la especie han sido mínimos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a la empresa EKODES Consultores S.A., especialmente a Jaime Llosa y su grupo de profesionales, quienes me brindaron toda la ayuda y facilidades para el establecimiento del SIG que se presenta en este estudio.

“También agradezco mucho la ayuda del proyecto MSM 0021620831 de Ministerio de educación, juventud y deporte, República Checa”.

Bibliografía

- BECK, S.G. (1998): Floristic inventory of Bolivia – An indispensable contribution to sustainable development, pp. 243–268. En: W. Barthlott & M. Winiger (eds). Biodiversity. A Challenge for Development Research and Policy. Springer-Verlag, Berlín.
- BYERS, A.C. (1999): Cambios en el paisaje contemporáneo del Parque Nacional Huascarán y su zona de amortiguamiento, Cordillera Blanca, Perú. The Mountain Institute, Huaraz, Ancash, Perú, pp. 1–33.
- CÁRDENAS, M. (1989): Manual de plantas económicas de Bolivia. 2^{da} edición. Los Amigos del Libro, La Paz, Bolivia. 333 p.
- CASTRO, J.M., SILVA, V., VALENCIA, F.R. (1990): Parque Nacional Huascarán. Plan maestro – resumen ejecutivo. Preparado con el apoyo del Programa de Desarrollo Forestal Canada-Peru. 28 p.
- FJELDSÅ, J., KESSLER, M. (1996): Conserving the biological diversity of *Polylepis* woodlands of the highlands of Peru and Bolivia: A contribution to sustainable natural resource management in the Andes. NORDECO, Copenhagen. 250 p.
- FJELDSÅ, J. (1995): Geographical patterns of neoendemic and relict species of Andean forest birds: the significance of ecological stability areas, pp. 89–102. En: S.P. Churchill, H. Balslev, E. Forero & J.L. Luteyn (eds.). Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests. New York Botanical Gardens, Bronx.
- FJELDSÅ, J., LAMBIN, E., MERTENS, B. (1999): Correlation between endemism and local ecoclimatic stability documented by comparing Andean bird distributions and remotely sensed land surface data. *Ecography* 22: 63–78.
- FRIMER, O., MOLLER, S. (1989): *Polylepis* forests and their avifauna in Cordillera Blanca, Perú. Technical report from an inventory in 1988 with suggestions for conservation management. Zoological museum, University of Copenhagen, Denmark. 52 p.
- FUNK, V.A., ROBINSON, H., MCKEE, G.S., PRUSKI, J.F. (1995): Neotropical montane Compositae with an emphasis on the Andes. En S.P. Churchill et al., eds. Biodiversity and conservation of neotropical montane forests. Proceedings. New York, The New York Botanical Garden: 451–471.
- GALLIER, R., POUYAND, B., ZAPATA, M., YEREN, J. (2004): Los glaciares, marcadores del cambio climático andino. En: Cambio Climático al Día. Accesado 8/11/2007. <http://www.conam.gob.pe/proclim/pdfpolo/boletin%202.pdf>

- GRUPO CRUCIBLE II. (1999): Siembra de soluciones. Tomo I. Alternativas políticas en materia de recursos genéticos (actualización de gente, plantas y patentes), pp. 13–14.
- HIDRANDINA, S.A. (1988): Glacier Inventory of Peru. Unit of Glaciology and Hydrology. Eximpress S.A. Huaraz, Perú. 105 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA – INEI. (2007): Censos Nacionales IX de Población y IV de Vivienda 2005. Accesado 08/11/2007. <http://inei.inei.gob.pe/inei/RedatamCpv2005.asp?ori=C>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL – IGN. (1989): Atlas geográfico del Perú. Lima, Perú. 400 p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO – INGEMMET. (1995): Boletín N° 55. Geología del Perú. Lima. Boletín N° 60. Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Lima, Perú.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES – INRENA. (2004): Glaciares, lagunas altoandinas, desglaciación y cambio climático: Evolución del Glaciar Yanamarey. Accesado 10/12/2006. http://www.inrena.gob.pe/irh/irh_proy_glaciares.htm
- KESSLER, M., DRIESCH, P. (1993): Causas e historia de la destrucción de bosques altoandinos en Bolivia. *Ecología en Bolivia* 21: 1–18.
- KESSLER, M. (1995): The genus *Polylepis* (Rosaceae) in Bolivia *Candollea*, 50 (1): 131–171.
- KESSLER, M. (1995a): *Polylepis*-Wälder Boliviens: Taxa, Ökologie, Verbreitung und Geschichte. *Dissertationes Botanicae* 246, J. Cramer, Berlin. 303 p.
- KESSLER, M. (1995b): The genus *Polylepis* (Rosaceae) in Bolivia. *Candollea* 42: 31–71.
- KESSLER, M. (2002): The *Polylepis* problem: Where do we stand?. *Ecotropica* 8: 97–110.
- KESSLER, M. (2006): Bosques de *Polylepis*. Editores: M. Moraes, R.B. Øllgaard, L.P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 110–120.
- KOEPCKE, H.W. (1961): Synökologische Studien and der Westseite der peruanischen Anden. *Bonner Geographische Abhandlungen* 29, Bonn.
- LAMA, A. (2000): Deshielo andino amenaza al ambiente regional; *Terramérica*, medio ambiente y desarrollo. Accesado 2/2/2006. <http://www.chasque.apc.org/chasque2000/informes/setiembre000/info2000-9-04.htm>.
- MELÉNDEZ, J., ALVA, M. (2005): Aplicación de la geomática en el análisis geomorfológico de la subcuenca de la quebrada Cojup (Huaraz, Ancash). *Investigaciones sociales*. Año IX N° 15, UNMSM / IHS, Lima. pp. 337–352.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA – MINAG. (1990): Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán. Generalidades y Diagnóstico. Unidad Agraria Departamental V – Ancash, Dirección de Parques Nacionales, Programa de Desarrollo Forestal, pp. 71–73.
- MINISTERIO DE SALUD. (1981): Estudio de Contaminación y Preservación del Río Santa. Dirección General de Medio Ambiente – Dirección de Protección de Medio Ambiente. Lima, Perú. Tomo I. 150 p.
- MORALES, A.C. (2001): *Las Cordilleras del Perú*. Lima, Universidad San Martín de Porres y Banco Central de Reserva del Perú. 204 p.
- SA & E S.A. (1998): Estudio de Factibilidad y Definitivo para el desagüe de la laguna Pacliashcocha Cuenca del río Santa. Sistemas, Agua y Energía S.A. Electro Perú S.A. Gerencia de Producción Glaciología y Recursos Hídricos. Lima – Perú. s.n.
- SHOOBRIDGE, D. (2005): Perfil del área protegida – Perú “Parque Nacional Huascarán”. *ParksWatch*. 68 p. Accesado 15/10/2007. http://www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/hunp_spa.pdf
- SIMPSON, B.B. (1979): A revision of the genus *Polylepis* (Rosaceae: Sanguisorbeae). *Smithsonian Contr.* 43: 1–59 y 1–62.
- SIMPSON, B.B. (1986): Speciation and specialization of *Polylepis* in the Andes, pp. 304–316 En: F. Vuillemier & M. Monasterio (eds.). *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford University Press, Nueva York.
- SOCIEDAD PERUANA DE DERECHO AMBIENTAL – SPDA. (2002): Compendio de Legislación de Áreas Naturales Protegidas. Lima, Perú. 493 p.
- TROLL, C. (1929): Die Cordillera Real. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 7/8: 279–312.
- VIGNON, F. (2002): Glaciares y recursos hídricos en el valle alto del río Santa. Tesis de DES (Diplôme d’Etudes Supérieures) de la Universidad Paris VI, ciencias naturales. 57 p.

- VILÍMEK, V. (1995): Natural hazards in the Cordillera Blanca MTs., Peru. Acta Montana, Series A, Geodynamics. No. 8 (97), 71–86, Prague.
- VILÍMEK, V., ZAPATA, M.L., KLIMEŠ, J., PATZELT, Z., SANTILLÁN, N. (2005): Influence of glacial retreat on natural hazards of the Palcacocha Lake area, Perú. Journal of the International Consortium on Landslides. Landslides 2: 107–115.
- WEBERBAUER, A. (1945): El mundo vegetal de los Andes Peruanos. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 776 p.
- ZUÑIGA, G. (2001): Evaluación de la aptitud de las tierras con fines forestales de la ladera sud del “Parque Tunari” – Resumen. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales (CLAS). Cochabamba, Bolivia. 42 p. Accesado 12/06/2007. http://www.zabalketa.org/documentos/tecnicos/evalua_reforestacion_tropicales.pdf

Résumé

Hranice lesů *Polylepis* v důsledku ústupu ledovce v údolí Quillcay – Ancash

Lesy *Polylepis* se v Andách vyskytují v roztroušených ostrůvcích. V těchto lesích se nacházejí velice rozmanité druhy rostlin a mimořádná a jedinečná fauna horských ekosystémů v nadmořských výškách nad 3500 m. Studie o těchto lesích (Kessler, 1995) potvrdily v Andách existenci více než dvaceti druhů *Polylepis*, zejména v Ekvádoru, Peru, Bolívii a na severu Argentiny a Chile. Nejbohatším místem výskytu tohoto rodu je Peru s 15 druhy, které se nacházejí na 2 % jeho území (Kessler a Driesch, 1993; Kessler, 1995a a b; Fjeldsá a amp; Kessler, 1996). Lesy *Polylepis* však rychle mizí, protože je obyvatelé And využívají jako palivo a stavební materiál. Popel ze spáleného dřeva se rovněž používá ke zlepšení kvality půdy ve vysokých polohách And.

V provincii Ancash v Peru (Cordillera Blanca) je biosférická rezervace – Národní park Huascarán, který je proslulý zejména ledovci nacházejícími se v nejvyšších nadmořských výškách na světě. Park je jedním z mála útočišť zdravé populace těchto lesů, jakož i četných rostlinných druhů a endemické fauny (Fjeldsá a amp; Kessler, 1996). Nicméně i v chráněných oblastech je dopad činnosti místních obyvatel na lesy *Polylepis* výrazný. Naštěstí se tyto lesy často nacházejí v opuštěných skalnatých oblastech, kam je obtížný přístup.

V současné době působí na naši planetu globální klimatické změny, které působí i změny klimatu vedoucí ke změnám v ekosystémech a samozřejmě i ke změnám rozšíření společenstev. Velmi známým příkladem klimatických změn je ústup ledovců v pohoří Cordillera Blanca, který se v posledních třiceti letech stále zrychluje (Castro, 1990; Lick, 2000; INRENA, 2004). Očekává se, že do 15 až 20 let ledovce v nadmořských výškách do 5000 m úplně zmizí (Morales, 2001; INRENA 2004). Tato skutečnost vedla různé státní a zahraniční instituce ke studiím o dynamice ústupu ledovců za účelem zajištění vody do budoucna. V rámci těchto studií byly rovněž vypracovány různé scénáře vlivu klimatických změn, zatímco studie o pohybu rostlinných společenstev v horských ekosystémech Národního parku Huascarán ještě vypracovány nebyly. Protože tyto klimatické změny mají značný vliv na ústup ledovců, budou mít rovněž vliv na pohyb hranice lesů *Polylepis* ve vysokých Andách.

Povodí řeky Quillcay, které je předmětem této studie, je malou oblastí uvnitř Národního parku Huascarán s lesy *Polylepis* a s ustupujícími ledovci. Protože tyto lesy jsou uvnitř chráněné oblasti, kde jsou dopady lidské činnosti minimální, musíme se tázat, zda existuje nějaká souvislost mezi ústupem ledovců a pohybem hranice lesů *Polylepis* v povodí Quillcay. Znamená pohyb hranice těchto lesů nebezpečí eroze půdy a ztráty biodiverzity? Je tato hrozba bezprostřední či nikoliv?

Práce se pokouší odpovědět na tyto otázky (s využitím GIS) sestavením map znázorňujících rozmístění lesů *Polylepis* a ledovců, a to ve dvou obdobích – v 60. letech 20. století a v roce 2006. Srovnání těchto map ukazuje buď podstatný či nepodstatný pohyb hranice lesů *Polylepis*, dále jejich šíření či ústup (a tyto změny kvantifikuje v hektarech). Zároveň poskytuje mapu znázorňující ústup ledovců v tomto období, vyjádřený v kilometrech čtverečních. Analýza těchto jevů umožnila vyhodnotit možná rizika eroze a ztráty biodiverzity.