



FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LAS LAGUNAS DE ALTA
MONTAÑA EN LA CORDILLERA DEL VILCABAMBA (CUSCO Y
APURÍMAC) ENTRE LOS AÑOS 1991-2014
MEDIANTE MÉTODOS DE SENSORAMIENTO REMOTO Y SIG

Tesis para optar el título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente que presenta
la

Bachiller:

LUCÍA YESABELL GUARDAMINO SOTO

ASESOR: FABIAN DRENKHAN

Lima, 14 de Noviembre de 2014

Agradecimientos

La culminación de la presente tesis ha sido uno de los procesos más difíciles y enriquecedores de mi vida universitaria, y en todo este camino me han acompañado muchas personas a las cuales quiero manifestares mi sincera gratitud, porque sin ellos esta tesis no sería posible.

Agradezco a mis padres Héctor y Luisa, y a mi hermano Fernando por su apoyo constante, por ser la fuerza que necesito cuando siento que no puedo continuar, por alentarme cada día a ser una mejor persona y a dar lo mejor de mí en cada momento. Doy gracias infinitas a Dios por tenerlos a mi lado.

Una persona sin la cual definitivamente no hubiera podido concretar este arduo camino es mi asesor Fabian Drenkhan. Mis más profundos agradecimientos por todas las horas invertidas en las asesorías, correcciones de mis avances, por estar siempre dispuesto a absolver mis dudas, por las enseñanzas brindadas, por la paciencia y el buen ánimo. Aprecio mucho su dedicación y lo admiro por ser una gran persona y un geógrafo a seguir.

Quiero expresar un agradecimiento especial a Edwin Loarte y Alejo Cochachin de la UGRH quienes contribuyeron con sus apreciaciones y estuvieron prestos a facilitar la información solicitada en el menor tiempo posible.

Asimismo, agradezco al conjunto de especialistas del Proyecto Glaciares, entre ellos, a Christian Huggel y Wilfried Haerberli. Gracias por las recomendaciones realizadas, los comentarios sobre la tesis y la información proporcionada.

También quisiera agradecer a Wilson Suarez por sus sinceras opiniones y por la valiosa información que me facilitó sobre el área de estudio.

Finalmente, agradezco a mis amigas Erica, Mariela y Lovenny quienes me acompañaron y me animaron a seguir con la tesis, y por ser la inspiración que necesitaba para concluirarla.

RESUMEN

En las últimas décadas los glaciares de todo el mundo han experimentado un retroceso glaciar sin precedentes desde la máxima extensión de la Pequeña Edad de Hielo (LIA). Este desarrollo favorece la formación y crecimiento de lagunas glaciares que en conjunto con cambios de parámetros glaciares probablemente generarán más frecuentemente las condiciones para la ocurrencia de desastres, tales como Avenidas repentinas por Desbordamiento de Lagunas Glaciares (GLOF). Ante este escenario, el análisis de cambio de las características de lagunas y la identificación de nuevas lagunas glaciares, así como la evaluación de la amenaza que representan son fundamentales para reducir el potencial daño y prevenir desastres futuros para poblaciones adyacentes.

A pesar de fuertes evidencias de impactos del cambio climático en las 19 cordilleras glaciares de los Andes Tropicales del Perú y múltiples registros de desastres relacionados al derretimiento glaciar, pocos estudios han cuantificado y analizado el desarrollo de lagunas glaciares. En este contexto, la tesis se enfoca en la Cordillera del Vilcabamba, Cusco y Apurímac, un área remota de difícil acceso y escasos datos climáticos y glaciológicos in-situ. El estudio emplea un análisis multi-temporal con imágenes Landsat TM 5 y OLI 8 entre 1991 y 2014. Para ello se desarrolló un modelo semi-automático con los cocientes de bandas Normalized Difference Snow Index (NDSI) y Normalized Difference Water Index (NDWI) a fin de identificar los cambios de áreas glaciares y lagunares. Los resultados corroboran una fuerte reducción de área glaciar de 51% en los últimos 23 años (1991-2014). En el mismo período, el número de lagunas (la superficie lagunar total) se han incrementado a una tasa cada vez más acelerada, de 0.77% (0.48%) en 1991 a 2.31% (2.49%) en 2014. Del total de 329 lagunas en 2014, 90 cumplían con al menos uno de los cinco criterios establecidos para la derivación de la potencial amenaza. La laguna B062 es la de mayor interés por cumplir con tres criterios establecidos. Además, se detectaron 29 centros poblados altamente expuestos a amenazas relacionadas con lagunas de los cuales, 25 se encuentran a menos de 1 km de distancia de alguna laguna y cuatro, en la ruta de recorrido de una posible remoción de masa. En estas áreas los riesgos humanos podrían ser particularmente altos en vista de un bajo IDH que se encuentra por debajo del promedio peruano y por tanto implica una vulnerabilidad acentuada. Este panorama exige mayores esfuerzos de investigación en la Cordillera del Vilcabamba y cordilleras adyacentes con trabajos de campo que incorporen mediciones y monitoreo de las lagunas de alta montaña que representen un mayor potencial de amenaza.

ABSTRACT

In recent decades, glaciers worldwide have experienced unprecedented glacier retreat since the maximum extension of the Little Ice Age (LIA). This development triggers the formation and growth of glacier lakes, which in combination with changes in glacier parameters might produce more frequently conditions for the occurrence of disasters, such as Glacier Lakes Outburst Floods (GLOF). Facing such a scenario, the analysis of changing lake characteristics and identification of new glacier lakes, as well as the evaluation of the hazard that they represent are fundamental in order to reduce the potential damage and prevent future disasters for adjacent human settlements.

Despite strong evidence of climate change impacts in 19 glacier mountain ranges of Peru's Tropical Andes and multiple records of disasters linked to glacier retreat, only a few studies have quantified and analyzed the development of glacier lakes. In this context, this thesis focuses on the Cordillera Vilcabamba, Cusco and Apurímac, in a remote area with difficult access and in-situ climate and glaciological data scarcity. The study employs a multi-temporal analysis with Landsat TM 5 and OLI 8 images between 1991 and 2014. Therefore, a semi-automatic model was developed which uses the band ratios Normalized Difference Snow Index (NDSI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) in order to identify glacier and lake area changes. Results corroborate a strong glacier area reduction of about 51% within the last 23 years (1991-2014). At the same time, the number of lakes (total lake surface) has increased at an accelerated rate, from 0.77% (0.48%) in 1991 to 2.31% (2.49%) in 2014. From a total of 329 lakes in 2014, 90 met at least one out of five criteria established for derivation of the potential hazard. Lake B062 is of particular interest as it fulfills with three of the established criteria. Additionally, 29 population centers have been identified as highly exposed to lake related hazards being 25 with a distance less than 1 km to an upstream lake and four are situated in a channel of potential debris flow. In these areas human risks might be particularly high in view of a low HDI below Peru's average and hence pronounced vulnerability. This panorama calls for more investigation efforts in the Cordillera Vilcabamba and adjacent mountain ranges with fieldwork that incorporates measurements and monitoring of potentially hazardous high-mountain lakes.

CONTENIDOS

RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problemática y Justificación.....	3
1.2. Preguntas de investigación	5
1.3. Hipótesis	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Delimitación y caracterización del Área de Interés	5
1.6. Estado del Arte	10
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Fundamentos de glaciología.....	14
2.1.1. Glaciares: Características y conceptos generales	14
2.1.2. Lagunas glaciares: Formación y tipos de lagunas	16
2.2. Los glaciares de los Andes Tropicales.....	18
2.2.1. La Zona Tropical Exterior Andina	19
2.2.2. Impactos del Cambio Climático.....	21
2.3. Origen y características de Avenidas Repentinas por el Desembalse de Lagunas Glaciares (GLOF) y eventos ocurridos en la Cordillera del Vicabamba	25
3. METODOLOGÍA	29
3.1. Fase 1: Recopilación de datos	29
3.2. Fase 2: Pre-procesamiento de imágenes.....	32
3.3. Fase 3: Estudio Multi-temporal.....	33
3.4. Fase 4: Obtención de Parámetros.....	36
3.5. Fase 5: Análisis de la amenaza	37
4. RESULTADOS.....	39
4.1. Estudio Multi-temporal de áreas lagunares y glaciares.....	39
4.2. Parámetros de lagunas	46

4.2.1. Distribución altitudinal.....	46
4.2.2. Distancia horizontal/lineal laguna-glaciar	47
4.2.3. Distancia/conexión con centros poblados	49
5. DISCUSIÓN.....	53
5.1. Evaluación de la amenaza.....	53
5.1.1. Evolución de lagunas y su conexión con el desarrollo glaciar	53
5.1.2. Análisis de parámetros	56
5.2. Consideraciones generales	59
6. CONCLUSIONES	63
7. RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	X
ANEXOS	XV



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES PROMEDIO PROPORCIONADAS POR LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL URUBAMBA, MACCHUPICCHU Y ABANCAY (SENAMHI) 7

TABLA 2: RANKING DE DISTRITOS UBICADOS DENTRO DEL ADI, DE ACUERDO A SU IDH (PNUD 2008) 11

TABLA 3: EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA CORDILLERA DEL VILCABAMBA DE ACUERDO AL ESTUDIO DE SUAREZ ET AL. (2013) REALIZADO CON IMÁGENES SATELITALES LANDSAT 12

TABLA 4: ESPECIFICACIONES DE LAS IMÁGENES LANDSAT 5 THEMATIC MAPPER (TM) Y LANDSAT 8 OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI) (NASA 2014) 30

TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DE ESCENAS LANDSAT QUE SE EMPLEARON EN LA INVESTIGACIÓN 30

TABLA 6: DISTANCIA PROMEDIO EN METROS Y RMS ERROR DE LA IMAGEN ORIGINAL, DE LA IMAGEN ORIGINAL CON AUTOSYNC Y DE LA IMAGEN ORTORRECTIFICADA CON AUTOSYNC EN RELACIÓN A LA IMAGEN DE REFERENCIA..... 33

TABLA 7: UMBRALES DE NDWI PARA CADA UNA DE LAS ESCENAS LANDSAT TRABAJADAS. 34

TABLA 8: UMBRALES DE NDSI PARA CADA UNA DE LAS ESCENAS LANDSAT TRABAJADAS 35

TABLA 9: SUPERFICIE GLACIAR, TASA DE REDUCCIÓN ANUAL Y TASA DE REDUCCIÓN POR PERÍODO (1991-2014) 39

TABLA 10: SE PRESENTA LA VARIACIÓN EN EL NÚMERO TOTAL DE LAGUNAS Y DE LAGUNAS NUEVAS, ASÍ COMO, LAS TASAS DE INCREMENTO POR PERÍODO Y ANUAL EN PORCENTAJE 40

TABLA 11: VARIACIÓN DEL ÁREA TOTAL DE LAGUNAS, TASA DE INCREMENTO POR PERÍODO Y TASA DE INCREMENTO ANUAL..... 41

TABLA 12: NÚMERO DE LAGUNAS DISTRIBUIDAS POR RANGO DE SUPERFICIE (M²) ENTRE 1991 Y 2014 43

TABLA 13: DISTRIBUCIÓN DE LAGUNAS POR CUENCA HIDROGRÁFICA (NÚMERO DE LAGUNAS, PORCENTAJE DEL TOTAL Y ÁREA) 44

TABLA 14: DISTRIBUCIÓN POR CUENCA/INTERCUENCA HIDROGRÁFICA DE NUEVAS LAGUNAS FORMADAS ENTRE 1991-2001, 2001-2010 Y 2010-2014..... 45

TABLA 15: DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LAS LAGUNAS ENTRE 1991 - 2014..... 47

TABLA 16: DISTRIBUCIÓN DE LAGUNAS DE ACUERDO A SU DISTANCIA A LOS GLACIARES..... 47

TABLA 17: LAGUNAS QUE SE ENCUENTRAN A UNA DISTANCIA INFERIOR A 100 M DE LOS GLACIARES ... 48

TABLA 18: NÚMERO DE LAGUNAS Y PORCENTAJE QUE REPRESENTAN EN FUNCIÓN DE SU DISTANCIA DE CENTROS POBLADOS..... 51

TABLA 19: CENTROS POBLADOS MÁS PRÓXIMOS A LAGUNAS (0-1000 M), EN ORDEN DE MENOR A MAYOR DISTANCIA..... 51

TABLA 20: COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA SUPERFICIE GLACIAR CON EL ESTUDIO DE SUAREZ ET AL. 2013 Y UGRH (2014)..... 53

TABLA 21: CRITERIOS PARA IDENTIFICAR LAGUNAS CON POTENCIAL AMENAZA Y NÚMERO DE LAGUNAS QUE CUMPLEN CON CADA CRITERIO..... 56

TABLA 22: LISTADO DE LAGUNAS QUE CUMPLEN CON POR LO MENOS UNO DE LOS 5 CRITERIOS USADOS PARA ESTIMAR LA POTENCIAL AMENAZA..... 58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE UBICACIÓN DE LA CORDILLERA DEL VILCABAMBA 9

FIGURA 2: LOS SUBSISTEMAS DE ACUMULACIÓN Y ABLACIÓN DIVIDIDOS POR LA LÍNEA DE EQUILIBRIO (HUDDART Y STOTT 2010) 15

FIGURA 3: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL BALANCE DE MASA ANUAL EN LATITUDES MEDIAS, LOS TRÓPICOS EXTERIORES E INTERIORES (KASER Y OSMASTON 2002)..... 20

FIGURA 4: EL RÍO AOBAMBA ANTES (IZQUIERDA) Y DESPUÉS (DERECHA) DEL ALUVIÓN DEL 27 DE FEBRERO DE 1998. VISTA TOMADA HACIA EL SUR (CARLOTTO ET AL. 1999)..... 27

FIGURA 5: FLUJO DE TRABAJO, INSUMOS Y ORGANIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS..... 30

FIGURA 6: SE VISUALIZAN A) DISTORSIONES EN LA LAGUNA, B) FALLA TÉCNICA EN EL SENSOR..... 32

FIGURA 7: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE EL NÚMERO DE LAGUNAS, ÁREA LAGUNAR TOTAL Y NUEVAS LAGUNAS IDENTIFICADAS (1991-2014)..... 40

FIGURA 8: REDUCCIÓN GLACIAR Y MAYOR FORMACIÓN DE LAGUNAS ENTRE 1991-2014..... 41

FIGURA 9: REDUCCIÓN GLACIAR E INCREMENTO DE LA SUPERFICIE TOTAL DE LAGUNAS ENTRE 1991-2014..... 42

FIGURA 10: CLASIFICACIÓN DE LAS LAGUNAS IDENTIFICADAS ENTRE 1991 Y 2014 DE ACUERDO A SU ÁREA (RANGO DE 900 - 500000 M²)..... 42

FIGURA 11: NÚMERO DE LAGUNAS Y SUPERFICIE, DISTRIBUIDAS POR CUENCA/INTERCUENCA HIDROGRÁFICA (1991-2014)..... 45

FIGURA 12: LAGUNAS NUEVAS Y SUPERFICIE TOTAL (KM²) POR SISTEMA HIDROGRÁFICO..... 46

FIGURA 13: DISTANCIA DE LAS LAGUNAS IDENTIFICADAS EN EL 2014 A LOS GLACIARES DE LA CORDILLERA DEL VILCABAMBA 47

FIGURA 14: SE VISUALIZA EL NEVADO SALCANTAY Y LA LAGUNA CON CÓDIGO B011 A 3960 M DE DISTANCIA DEL GLACIAR (A LA DERECHA), Y LA LAGUNA CON CÓDIGO A078 A 3915 M DE DISTANCIA (A LA IZQUIERDA). 48

FIGURA 15 : CENTRO POBLADO CCOLLPA GRANDE Y LAS 5 LAGUNAS CERCANAS. FUENTE DE IMAGEN GOOGLE EARTH - 13/07/2014..... 49

FIGURA 16: PORCENTAJE DE LAGUNAS MÁS PRÓXIMAS A CENTROS POBLADOS, DISTRIBUIDAS POR CLASES (CLASES EXPRESADAS EN METROS) 50

FIGURA 17: LAGUNA HUAMANTAY Y VALLE ABAJO LOS CENTROS POBLADOS RÍO BLANCO, SAUCEDA Y AHUCCATA. FUENTE DE IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH – 05/06/2014 52

FIGURA 18: VISTA DE LA LAGUNA B062 DEL A) 30/07/2007, B) 28/07/2011 Y C) 17/06/2014. FUENTE GOOGLE EARTH. 54

FIGURA 19: CORRELACIÓN (R^2) ENTRE EL DESARROLLO GLACIAR Y LA FORMACIÓN DE LAGUNAS..... 55

FIGURA 20: ACELERACIÓN DE LA TASA DE FORMACIÓN DE LAGUNAS Y DESACELERACIÓN DE LA TASA DE DERRETIMIENTO GLACIAR ENTRE 1991-2014 56

FIGURA 21: LAGUNAS B062 Y B063, Y CENTRO POBLADO LLUSCAMAYO CHICO PENDIENTE ABAJO 59



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANA	Autoridad Nacional del Agua (Perú)
ADI	Área de Interés
DEM	Digital Elevation Model
ELA	Equilibrium Line Altitude
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ESCALE	Estadística de la Calidad Educativa (MINEDU)
GCP	Ground Control Points
GLOF	Glacial Lake Outburst Flood
GLOVIS	Global Visualization Viewer (USGS)
IDH	Índice de Desarrollo Humano (PNUD)
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática (Perú)
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales (Perú)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LIA	Little Ice Age
MINAM	Ministerio del Ambiente (Perú)
MINEDU	Ministerio de Educación (Perú)
NDSI	Normalized Difference Snow Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	Near Infrared
OLI	Operational Land Imager (Landsat 8)
PME	Period of Maximum Extention
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRAA	Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes
PREDES	Centro de Estudios y Prevención de Desastres (Perú)
RCP	Representative Concentration Pathways
RMS	Root Mean Square
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Perú)
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (NASA)
SWIR	Shortwave Infrared
TM	Thematic Mapper (Landsat 5)
UGRH	Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (ANA)

1. INTRODUCCIÓN

Los glaciares de todo el mundo están reduciendo su superficie y masa glaciaria salvo unos casos, como por ejemplo, al suroeste de la Cordillera Darwin en Tierra de Fuego o el Karakoram en el Himalaya, donde el avance glaciario se explica por las variaciones climáticas, tales como, el incremento de las precipitaciones (Kaltenborn et al. 2010). La principal razón del retroceso actual es el cambio climático que se traduce en modificaciones de las condiciones atmosféricas-terrestres a nivel de la temperatura del aire, precipitaciones, humedad, nubosidad, entre otros, generando cambios en el balance de energía y masa glaciaria (UNEP y WGMS 2008).

Hacia el futuro, las perspectivas son poco favorables debido a que los escenarios realistas o plausibles de evolución del clima en cuanto a la temperatura, establecen un incremento de entre 2 a 6°C hacia finales del siglo XXI lo que indica que la tasa de recesión se acelerará en las próximas décadas (Haeberli et al. 2013, Kaltenborn et al. 2010). Los nuevos escenarios RCP presentados en el 5° Informe de Evaluación del IPCC (2013) señalan un probable incremento global promedio de la temperatura desde 2.6°C (RCP 4.5) hasta 4.8°C (RCP8.5) hasta el año 2100. Este aumento será aún más pronunciado en las zonas tropicales de alta montaña debido al mayor contenido de energía disponible en una atmósfera con mayor humedad (Buytaert y De Bièvre 2012). Bradley et al. (2006) simulan un aumento de la temperatura superficial alrededor de 5.5°C hasta 2100 para los Andes Tropicales.

Los glaciares son excelentes indicadores de las variaciones climáticas y el cambio climático por la reacción altamente visible y sensible en su balance de masa. Sin embargo, los glaciares tropicales, localizados principalmente en los Andes americanos entre Bolivia y Venezuela, en las tres montañas más altas del este africano y en el Puncak Jaya de Indonesia son aún mucho más sensibles a las variaciones climáticas. Las variaciones que se generan a una escala temporal corta como las variaciones interanuales, también afectan a estos glaciares lo que los hace mucho más vulnerables al cambio climático (Pouyaud et al. 1998, Kaser y Osmaston 2002). Mientras en los glaciares de las zonas templadas la ablación sólo se da en la temporada de verano, en los glaciares tropicales ocurre durante todo el año. (Kaser y Georges 1999, Kaser y Osmaston 2002). Además, los glaciares tropicales con una altitud máxima por debajo de los 5400 msnm son los más proclives a reducir su masa glaciaria y están en riesgo de desaparecer en las próximas décadas. Un primer ejemplo

de ello es el Chacaltaya en Cordillera Real (Bolivia), desaparecido en 2010 (Rabatel et al. 2013).

Las consecuencias del derretimiento y desaparición de los glaciares se manifiestan a nivel de alteraciones en el ciclo hidrológico, la evolución del paisaje, los cambios en procesos geomorfológicos y las amenazas naturales. El desarrollo y crecimiento de nuevas lagunas que suelen formarse en las depresiones de lenguas glaciares ya derretidas es uno de los fenómenos que suceden con mayor frecuencia y que además se constituye en un agente catalizador de desastres (Haeberli et al. 2013).

La amenaza (relacionada a eventos climáticos-físicos), vulnerabilidad y exposición (ambos de sistemas humanos y naturales), representan términos establecidos en la investigación del cambio climático. Recientemente, el 5º Informe de Evaluación del IPCC define el riesgo (de impactos del cambio climático) como la intersección de estos tres componentes (IPCC 2014). La presente tesis: *Análisis de la evolución de las lagunas de alta montaña en la Cordillera del Vilcabamba (Cusco y Apurímac) entre los años 1991 y 2014 mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG* se centra en el análisis sobre el desarrollo de lagunas (en correspondencia con la evolución glaciaria) y en una aproximación hacia la potencial amenaza de lagunas. Un análisis más detallado de la vulnerabilidad humana como capacidad adaptativa frente a tales desastres y la exposición humana relacionada a lugares adversamente afectados, sería parte de otras investigaciones más enfocadas en la evaluación de riesgos y su futura reducción.

La finalidad de esta investigación es actualizar el conocimiento sobre la formación de nuevas lagunas entre los períodos 1991-2001, 2001-2010 y 2010-2014, así como, las modificaciones que se han presentado en la superficie, altitud, distancia horizontal laguna – glaciar y distancia laguna - centro poblado, empleándose para ello una metodología basada en la aplicación del sensoramiento remoto y los SIG.

Es de vital importancia nutrir el corpus académico con información sobre los cambios en las lagunas de alta montaña, sus características y su relación con la evolución de las superficies glaciares en la Cordillera del Vilcabamba para comprender la potencial amenaza que representan para la infraestructura, los medios de subsistencia y las vidas humanas.

1.1. Problemática y Justificación

El retroceso glaciar propicia la formación y crecimiento de lagunas a través de la fusión del hielo y la nieve (UGRH 2014a). Por ejemplo, de acuerdo al inventario de lagunas de la Cordillera Blanca con años base 2002 y 2003, se habían formado 264 lagunas en los últimos 30 años, de las cuales, el 82.2% se encontraban en pleno desarrollo con superficies inferiores a los 5000 m², pero 47 lagunas nuevas ya habían superado esta extensión (UGRH 2012a).

La formación de nuevas lagunas y el incremento de la superficie y volumen de las lagunas pre-existentes no es un fenómeno nuevo. En el siglo XIX Antonio Raymondi había notado la ocurrencia de este proceso en la Cordillera Blanca (UGRH 2012a); sin embargo, con el cambio climático, se está experimentando un retroceso glaciar a una escala superior sin antecedentes en por lo menos los últimos 5000 años evidente en la formación y crecimiento, cada vez más acelerado, de lagunas en las últimas décadas (Rosenweigh et al. 2007).

La formación y crecimiento de lagunas no se constituye en el único problema, sino el tipo de dique que las embalsa, tratándose muchas veces de diques morrénicos que se caracterizan por ser de un material precario y poco resistente (Haeberli et al. 2013). La caída de rocas o desprendimientos de bloques de hielo al interior de una laguna glaciar forma oleajes que impactan sobre el dique, sobrepasándolo o ejerciendo tanta presión que finalmente este se quiebra y cede ante la potencia del agua. Los eventos sísmicos también pueden ser agentes causantes de la ruptura de un dique. Cabe señalar que los Andes, por ser una de las zonas tectónicamente más activas del mundo, son altamente susceptibles a la ocurrencia de movimientos telúricos (Haeberli et al. 2013, UGRH 2014a).

La Sierra del Perú ha sido testigo de catástrofes de origen glaciar como resultado del cambio climático de la mano con otros factores ambientales y sociales. Los efectos que los cambios en el clima y los glaciares han tenido sobre los Andes peruanos han generado los más devastadores desastres de origen glaciar del último siglo. El desborde de la laguna Palcacocha (Cordillera Blanca) en el año 1941 afectó la ciudad de Huaraz y cobró las vidas de aproximadamente 5000 personas, generando además pérdidas materiales (Carey 2005; Carey 2010).

En la Cordillera del Vilcabamba, al sur del Perú, la desglaciación de los nevados Salcantay y Sacsara constituyen un peligro latente para la población del distrito de Santa Teresa. En 1998 vivenciaron tres eventos aluviónicos de gran magnitud

generados por la precipitación torrencial en la región, posiblemente vinculada a los impactos de El Niño en este período (PREDES 2007, Carlotto et al. 1999).

Ante este contexto es de vital importancia llevar a cabo una mayor cantidad de investigaciones en glaciología, que para el caso de la Cordillera del Vilcabamba se restringen a pocos estudios, tales como los inventarios de lagunas y glaciares de la UGRH (2012b, 2014a, 2014b); el estudio de evolución glaciaria de la Cordillera del Vilcabamba entre los años 1991, 1996, 2004 y 2011 (Suarez et al. 2013); y la investigación desarrollada como parte del PRAA (2011) para la determinación de la disponibilidad hídrica presente y futura en la subcuenca del río Santa Teresa. De tal modo que se enriquezca la información existente con respecto al comportamiento de glaciares y lagunas en un ámbito de cambio climático, contribuyendo en la reducción de los impactos negativos de la desglaciación, principalmente asociados a desastres.

Mantener una base de datos actualizada con respecto a las lagunas existentes y los parámetros físicos y sociales que las caracterizan (en la tesis se hace énfasis en las características físicas de las lagunas) permite reducir el riesgo de desastres al detectar tempranamente las lagunas que representan una amenaza potencial, recomendándose el monitoreo *in situ* de las mismas y previniendo así un posible desastre.

El uso del sensoramiento remoto y los SIG para tales fines se justifica en razón de las ventajas que ofrece para la detección de las superficies lagunares y glaciares; así como, para el estudio de los parámetros de las lagunas. Dado que las lagunas de alta montaña y los glaciares se encuentran en zonas, en su mayoría, inaccesibles, la información satelital permite su investigación sin necesidad de tener un contacto directo con los objetos de estudio. Además, a través del sensoramiento remoto se pueden cubrir extensas áreas territoriales (Huggel et al. 2002), lo que posibilita el estudio de toda la Cordillera del Vilcabamba. A diferencia de realizar un trabajo de campo, implica un mayor ahorro en tiempo y dinero, por lo que la utilización de estas técnicas es viable para la realización de estudios en zonas montañosas.

1.2. Preguntas de investigación

¿Cómo han evolucionado las lagunas de la Cordillera del Vilcabamba entre los años 1991 y 2014 en términos de su cantidad y superficie?

¿Qué parámetros se pueden/deben evaluar para estimar la potencial amenaza de lagunas de alta montaña?

¿Existen lagunas que representen una potencial amenaza para poblaciones adyacentes en la Cordillera del Vilcabamba?

1.3. Hipótesis

La intensificación de la fusión del hielo glaciar ha incrementado el número, y tamaño de las lagunas que se encuentran en la Cordillera del Vilcabamba entre los años 1991 y 2014, y además algunas de ellas representan una potencial amenaza, por su rápida formación y crecimiento, cercanía a glaciares y a centros poblados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Identificar las lagunas de la Cordillera del Vilcabamba y realizar un análisis sobre su evolución entre los períodos 1991, 2001, 2010 y 2014.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar lagunas, que de acuerdo a las características físicas evaluadas puedan representar un mayor potencial de amenaza para las poblaciones adyacentes, contribuyendo con información útil para priorizar estudios de campo, mediciones y monitoreos en las lagunas identificadas.
- Desarrollar una metodología universal para establecer cuáles son los factores determinantes para identificar lagunas con mayor potencial de amenaza.

1.5. Delimitación y caracterización del Área de Interés

La Cordillera del Vilcabamba es un tramo de la Cordillera Oriental Andina que se ubica entre los 13°15' y 13°25' latitud sur, y entre los 72°30' y 73°15' longitud oeste, en los departamentos de Cusco y Apurímac al sur del Perú. Se encuentra en un área de

transición entre las regiones Andina y Amazónica (Suarez et al. 2013), y es la tercera cordillera glaciaria más grande del Perú y en los trópicos a nivel mundial (Ver Figura 1).

El agua que brota de los glaciares que se encuentran dentro de la Cordillera del Vilcabamba alimenta tres sistemas hidrográficos importantes: la cuenca del Urubamba y las intercuenas del Bajo y Alto Apurímac, las cuales desembocan en el Amazonas y forman parte de la vertiente del Atlántico.

Su relieve es accidentado y elevado con un rango altitudinal de entre 800 y 6264 msnm. El pico más alto de la Cordillera representa al nevado Salcantay. Además se encuentran otros nevados que superan los 5000 msnm y que en su parte alta presentan pendientes fuertes a muy fuertes. Hacia el norte, el terreno se va suavizando progresivamente a medida que se conforma la Ceja de Selva (Carlotto et al. 1999; Cárdenas et al. 1997).

Son comunes los circos glaciares y las morrenas frontales y de fondo ubicadas a lo largo de la cadena de nevados. Los valles en forma de “U” de mediana longitud también forman parte de la geomorfología de la Cordillera, por ejemplo, de Santa Teresa, Aobamba, Sacsara, Arma y Choquetira (Carlotto et al. 1999; Cárdenas et al. 1997, INDECI 2011).

De otro lado, los valles fluviales de la vertiente norte tienen una pendiente más suave que aquellos que se ubican en la vertiente sur, donde las laderas son mucho más empinadas. Los valles intracordilleranos, que atraviesan la cordillera de norte a sur, también presentan una topografía variada. El valle del Apurímac es encajonado en el sur y progresivamente más amplio y con terrazas extensas hacia el noroeste; el Urubamba presenta pendientes empinadas en su recorrido, por ejemplo, en el sector denominado Cañón del Urubamba donde el río corta el Macizo de Machu Picchu; y, finalmente, el valle del río Pampas, también se caracteriza por ser encajonado y con pendientes marcadas (Carlotto et al. 1999; Cárdenas et al. 1997).

Rocas intrusivas, metamórficas y sedimentarias conforman la litología de la Cordillera del Vilcabamba. En el extremo este, entre los nevados Huayanay-Ocobamba, se encuentran rocas intrusivas del Batolito de Machu Picchu, rocas metamórficas del Paleozoico inferior, y en su extremo sur, rocas sedimentarias de los Grupos Yuncaypata y San Jerónimo. En el sistema de nevados Paljay – Corihuayrachina predominan las rocas metamórficas del Paleozoico inferior, a excepción del Salcantay, que se encuentra sobre intrusivos permo-triásicos. Los nevados de la zona central de

la Cordillera (Sacsarayoc, Pumasillo y Choquetacarpo), se emplazan principalmente sobre rocas intrusivas del batolito de Pumasillo (Carlotto et al. 1999). Al oeste de la Cordillera se encuentran rocas intrusivas (microdioritas, intrusivas devonianas y permo-triásicas) y metamórficas (gneis del Paleozoico indiferenciado) (Cárdenas et al. 1997).

El clima de la región está caracterizada por dos estaciones, la primera es cálida y húmeda entre los meses de octubre a marzo (verano austral) con temperaturas 1-2°C superiores a las de la temporada seca y fría (invierno austral), que se desarrolla entre los meses de mayo a setiembre. La data de las estaciones meteorológicas del Urubamba, Macchupicchu y Abancay sobre las temperaturas máximas y mínimas indican que la temperatura promedio del área de estudio oscila entre aproximadamente 14°C y 17°C.

Estación meteorológica	Temperatura promedio (°C)	Precipitaciones promedio (mm)
Urubamba	~ 14	~ 500
Machupicchu	~ 16	~ 2000
Abancay	~ 17	~ 520

Tabla 1: Temperaturas y precipitaciones promedio proporcionadas por las estaciones meteorológicas del Urubamba, Macchupicchu y Abancay (SENAMHI)

A diferencia de la temperatura, las precipitaciones, la humedad específica y la cobertura de nubosidad son mucho más variables entre temporadas. Los datos de precipitaciones existentes señalan una variación aproximada de entre 500 mm y 2000 mm. Esta marcada diferencia se debe a su posición (elevación y cercanía a la Amazonía) (Ver Tabla 1).

La Cordillera del Vilcabamba se encuentra en una zona potencialmente influenciada por el fenómeno ENSO. Las fases El Niño del ENSO son períodos mucho más cálidos y secos por lo que se les atribuye un mayor retroceso glaciario; mientras que, en La Niña, son más fríos y húmedos, y por lo tanto hay un mayor avance glaciario (Vuille et al. 2008a, Rabatel et al. 2013).

En base a la información trabajada por el INRENA (2004), las zonas de vida establecidas por la clasificación climática de Holdridge que predominan en la Cordillera de Vilcabamba en orden de importancia por su extensión son las de páramo pluvial,

bosque húmedo, bosque muy húmedo, bosque pluvial, bosque seco, tundra pluvial, nival, páramo muy húmedo y monte espinoso.

Es importante mencionar el impacto de la intervención antrópica sobre los ecosistemas de la Cordillera del Vilcabamba, y en general, en las cuencas de la región Cusco, donde la remoción de la masa vegetal y la erosión producen deslizamientos, aluviones, huaycos y derrumbes de diferentes intensidades (PRAA 2011).

En el área que cubre la Cordillera de Vilcabamba se encuentran 964 centros poblados que se distribuyen en 15 distritos. La mayor parte de la Cordillera se encuentra en el departamento de Cusco, específicamente en un sector de las provincias de La Convención, Urubamba y Anta. También se extiende sobre el extremo noreste del departamento de Apurímac ocupando un área más pequeña de su territorio.

En base al censo nacional del INEI (2007), en la zona predominan actividades económicas primarias como la agricultura y ganadería. En el sector de la Cordillera del Vilcabamba que se encuentra en el departamento del Cusco, un 70.7% de la población se dedica a estas actividades. En todos los distritos cusqueños esta es la actividad económica principal, a excepción de Machupicchu, donde el turismo representa la actividad económica más importante. Con respecto a los distritos que se encuentran dentro del departamento de Apurímac, las actividades agrarias son las que más se desarrollan por la población de los distritos de San Pedro de Cachora, Curahuasi y Huanipaca; mientras que en los distritos de Abancay y Tamburco, predomina el comercio al por mayor y menor.

Un indicador que permite tener una aproximación hacia los niveles de vulnerabilidad de las poblaciones de estos distritos es el IDH, el cual varió entre 0,54 y 0,63 en el 2007. Sólo dos de estos distritos cuentan con un IDH mayor al promedio peruano de 0.62 (PNUD 2008).

Vilcabamba y Santa Teresa son los distritos que cubren una mayor área de la Cordillera. Ambos se encuentran en las posiciones 1104 y 855 de los 1833 distritos que conforman el territorio peruano. Si bien no se encuentran en los últimos lugares, un factor crítico, sobre todo para el caso de Vilcabamba es el ingreso familiar per cápita de 121,8 soles al mes ubicándose en el puesto 1685 con respecto a este criterio (Ver Tabla 2). Sus pobladores muy probablemente no disponen de los medios suficientes para trasladarse a zonas más seguras, fuera de los cauces de quebradas que representan las zonas de amenazas por inundaciones y remociones de masa.

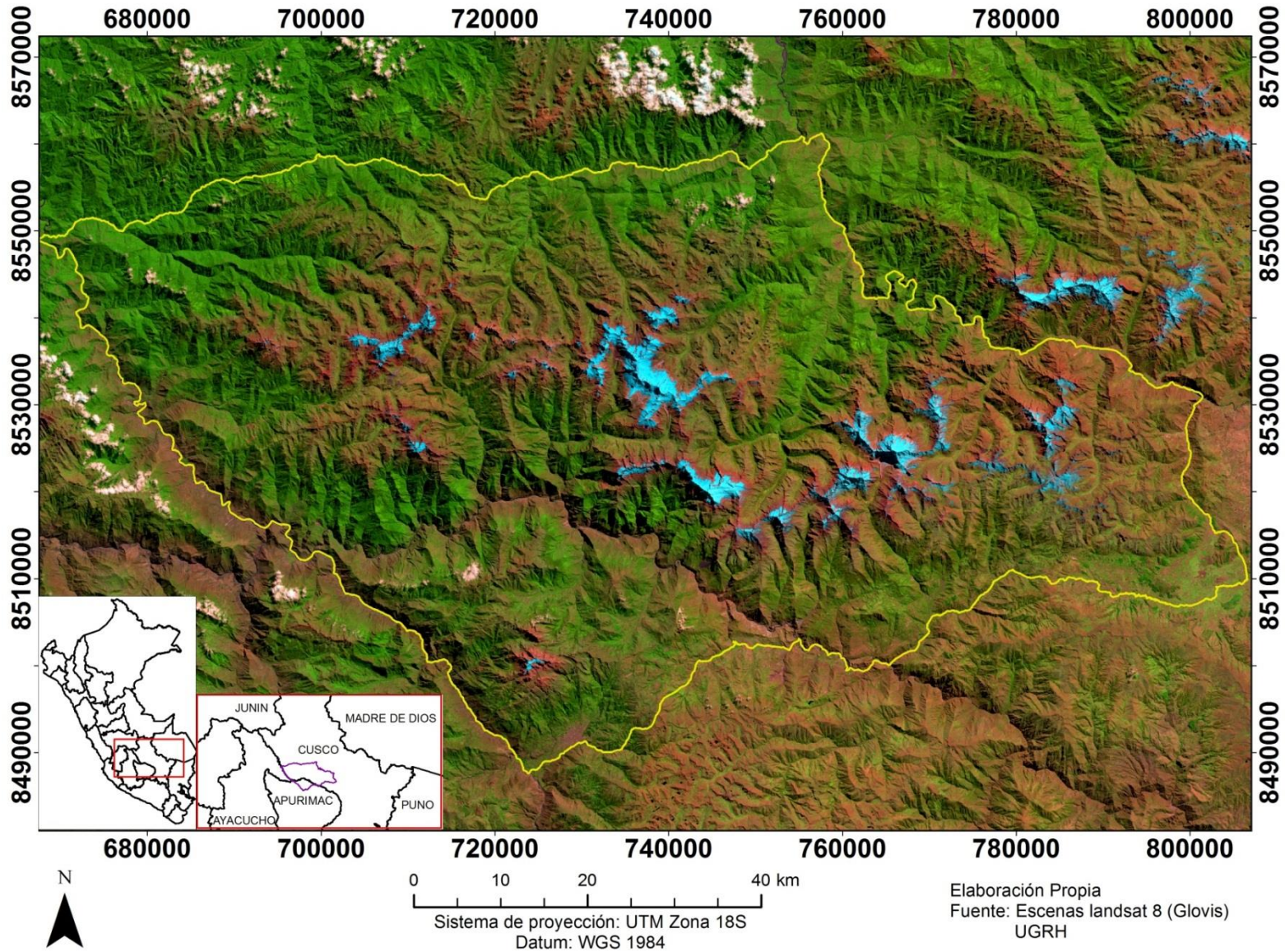


Figura 1: Mapa de Ubicación de la Cordillera del Vilcabamba

La vulnerabilidad socioeconómica puede agravarse aún más después de un desastre por la pérdida de sus viviendas, parcelas de cultivo y pastizales para su ganado. Así como de otras infraestructuras tales como vías y puentes que son importantes para el intercambio económico, agravando su situación de pobreza.

En la región Cusco se están dando dos procesos paralelos que incrementan las condiciones de vulnerabilidad. En primer lugar, la expansión de asentamientos urbanos y rurales en zonas inseguras ante desastres y, en segundo lugar, el deterioro de las cuencas hidrográficas por causa de la remoción por tala o quema de la cobertura vegetal (PRAA 2011).

1.6. Estado del Arte

Los estudios climatológicos y glaciológicos desarrollados en las zonas de alta montaña, sobre todo de las regiones tropicales, cuentan con una importante limitación derivada de la falta de series continuas de datos *in-situ* con respecto al clima y el balance de masa glaciar (Vuille et al. 2003, Kaser y Georges 1999, Kaser y Osmaston 2002, Rabatel et al. 2013, Salzmann et al. 2013); sin embargo, en base a la data disponible se han realizado algunas investigaciones en los Andes tropicales donde se abordan aspectos referidos a estimaciones sobre el área y volumen glaciar (UGRH 2012a, UGRH 2012b, Hanshaw y Boohagen 2014, Salzmann et al. 2013, Rabatel et al. 2013, Suarez et al. 2013, Vuille et al. 2008a, Silverio y Jaquet 2005). Asimismo, la relación entre las forzantes climáticas y el balance de masa glaciar se ha abordado en diferentes estudios, entre ellos, Kaser y Georges (1999), Francou et al. (1995), Kaser y Osmaston (2002), Vuille et al. (2003), Vuille et al. (2008b), Salzmann et al. (2013), Rabatel et al. (2013).

Existe un consenso con respecto al inminente retroceso glaciar que se está dando en los Andes Tropicales, y que parece ser mucho más significativo en las últimas décadas. Por ejemplo, Rabatel et al. (2013) y Vuille et al. (2008a) concluyen que la reducción glaciar comenzó a acelerarse a fines de la década de los 70s del siglo pasado y que parece haberse dado a una escala sin precedentes desde el Período de Máxima Extensión glaciar (PME) de la Pequeña Edad de Hielo (LIA) que se dio aproximadamente entre 1650-1700.

En el trabajo de Salzmann et al. (2013) realizado en la Cordillera del Vilcanota, región montañosa ubicada al sureste de la Cordillera del Vilcabamba, se reporta que entre 1962 y 1985 los cambios en la masa glaciar han sido leves, pero a partir de 1985 hasta el 2006, la reducción ha sido alrededor del 30% del área y 40% a 45% del volumen. Asimismo, en la publicación de Silverio y Jaquet (2005) sobre la Cordillera Blanca, se sostiene que el área de 721 km² que se estimó por el primer inventario nacional de glaciares en el año 1970, se había reducido a 643±63 km² en 1987 y a 600±61 km² en 1996, es decir a un ritmo de 4.8 km² por año en un lapso de 9 años.

Distrito	Población		IDH		Esperanza de vida al nacer		Alfabetismo		Escolaridad		Logro educativo		Ingreso familiar per cápita	
	habitantes	ranking	IDH	ranking	años	ranking	%	ranking	%	ranking	%	ranking	N.S.mes	ranking
Perú	27428615		0,6234		73,07		92,86		85,71		90,48		374,1	
Abancay	51225	408	0,6365	189	74	320	93,5	476	91,1	214	92,7	292	377,8	155
Macchupicchu	5286	801	0,6317	222	74,4	272	96,3	234	86,4	863	93	265	328,1	255
Tamburco	7353	623	0,6187	313	73,7	355	91,1	671	91,2	187	91,2	458	310,7	311
Anta	16336	304	0,5827	697	73	470	84,6	1139	91,4	182	86,8	865	201,4	838
Zurite	3705	1021	0,5798	752	72,8	515	85,4	1097	93,6	33	88,1	738	156,8	1264
Ollantaytambo	9851	484	0,5758	808	73,6	366	81,8	1300	86	903	83,2	1216	212	752
Santa Teresa	6999	649	0,5728	855	73,3	394	84,5	1148	84,6	1063	84,5	1072	175	1055
Mollepata	2901	1146	0,5643	999	72,7	553	78,3	1470	87,8	674	81,4	1355	207,1	784
Limatambo	9076	525	0,5604	1066	72,8	505	79,7	1410	84,3	1092	81,2	1372	184	970
Huarocondo	5719	761	0,5592	1089	72,7	561	76,8	1544	89,9	377	81,1	1377	182,9	979
Vilcabamba	17832	279	0,5587	1104	72,9	476	84,1	1169	82,4	1252	83,5	1176	121,8	1685
Curahuasi	16532	299	0,5581	1124	73	443	75,7	1576	89,9	372	80,4	1427	178,8	1019
San Pedro de Cachora	3531	1047	0,5539	1191	72,4	647	76,3	1556	87,5	716	80	1463	184,1	969
Ancahuasi	6785	666	0,5536	1200	72,5	602	78,3	1467	91,9	126	82,8	1248	118,2	1715
Huanipaca	4515	888	0,5413	1404	72,6	588	74,8	1608	84,6	1064	78,1	1583	138,1	1499

Tabla 2: Ranking de distritos ubicados dentro del ADI, de acuerdo a su IDH (PNUD 2008)

Los estudios realizados en la Cordillera del Vilcabamba también revelan que ha habido un retroceso importante en las últimas décadas, si bien no es posible establecer si anteriormente hubo momentos con una tasa de reducción igual de importante o aún mayor. En el año 1976 se realizó el primer inventario nacional de glaciares teniendo a 1970 como año base. Dado que no se contaba con fotografías aéreas para toda el área de la Cordillera del Vilcabamba, se calculó la superficie glaciaria sólo para un sector de la misma, estimándose un área de 37.74 km². El inventario actualizado al año 2009 revela que el área glaciaria para este mismo sector se había reducido a 15.53 km² (UGRH 2012b). Otro estudio en la Cordillera del Vilcabamba reporta que la cobertura glaciaria se ha reducido para la totalidad de la Cordillera, de 220.3 km² a 129.4 km² entre los años 1991 y 2011, siendo los más afectados aquellos glaciares con una altitud inferior a los 5400 msnm (Suarez et al. 2013) (Ver Tabla 3).

Año	Cobertura glaciaria (km ²)
1991	220.3
1996	183.8
2004	145.2
2011	129.4

Tabla 3: Evolución de la superficie de la Cordillera del Vilcabamba de acuerdo al estudio de Suarez et al. (2013) realizado con imágenes satelitales Landsat

Rabatel et al. (2013), Salzmann et al. (2013), Vuille et al. (2003, 2008a) reportan que la razón principal del derretimiento glaciario es el incremento de la temperatura, que a su vez, está relacionada con un incremento en la humedad; no obstante, es necesario realizar más estudios con mediciones tomadas en campo para corroborar los resultados obtenidos. En la región de la Cordillera del Vilcanota y el Quelccaya, Salzmann et al. (2013) reportan que las precipitaciones no han presentado cambios claros. Los cambios en la cobertura de nubosidad parecen ajustarse a las pequeñas modificaciones visibles en las precipitaciones, es decir, incremento de nubosidad en los trópicos interiores y lo opuesto en los trópicos exteriores (Vuille et al. 2003).

Por otro lado, ingresando a la parte técnica de la temática, se han llevado a cabo investigaciones que demuestran la utilidad de la teledetección para el desarrollo de estudios multi-temporales sobre lagunas, ya sea, en base al tratamiento de imágenes aéreas (McKillop y Clague 2006) y otras en las que se emplean imágenes satelitales (Huggel et al. 2002, UGRH 2012a, UGRH 2012b, 2014a, 2014b, Loriaux y Casassa 2012, Hanshaw y Bookhagen 2014). Huggel et al. (2002) recomiendan la utilización de índices de imágenes de amplia cobertura espacial como las escenas Landsat para la identificación de lagunas glaciares en extensas superficies del territorio. En cuanto a la corrección geométrica de las imágenes, para el Inventario de lagunas de la

Cordillera Blanca (UGRH 2014a), se tomó como referencia la cartografía nacional digitalizada para la ortorrectificación, obteniéndose un margen de error menor a 30 metros.

Para poder delinear claramente las lagunas y diferenciarlas de otros tipos de superficie, se ha propuesto la utilización de métodos semi-automáticos, entre los que se tiene a índices como el Normalized Difference Water Index (NDWI). Este índice consiste en emplear dos bandas con alta (el canal azul o B) y baja reflectancia (el infrarrojo cercano o NIR) del agua. Los valores que representan a las superficies de las lagunas oscilan entre -0.60 y -0.85. Además, entre las imágenes Landsat TM, la banda 4 ha demostrado ser más eficiente para el canal del NIR que las bandas 5 o 7 (Huggel et al. 2002). En la publicación de Hanshaw y Bookhagen (2014) también se aplicó este índice con resultados buenos para la identificación de lagunas con una concentración significativa de sedimentos. Otros estudios han empleado este índice exitosamente (Frey et al. 2010, UGRH 2012a, UGRH 2012b, 2014a).

Otros autores como Loriaux y Casassa (2012) señalan que la delimitación manual es más exacta que el método semi-automático. Las razones son la alta variabilidad de las firmas espectrales de las lagunas, la presencia de icebergs y la clasificación errónea de sombras. Huggel et al. (2002) concuerdan con este último problema al ejecutar el NDWI, por lo que sugieren la utilización de DEMs que permitirán descartar los datos correspondientes a sombras por medio de una imagen de sombras (*hillshade*) y de pendientes (*slope*). Este procedimiento también es utilizado por Hanshaw y Bookhagen (2014). La resolución de estos modelos es esencial para obtener resultados más satisfactorios. Para identificar las regiones glaciares se aplicó el Normalized Difference Snow Index (NDSI) el cual ha sido aplicado en algunos trabajos en los Andes tropicales (Huggel et al. 2002, Silverio y Jaquet 2005). La aplicación de este índice permite la discriminación de áreas correspondientes a nieve, suelo, rocas y cobertura de nubosidad.

Finalmente, la información sobre los eventos aluviónicos que se registraron en los Andes Peruanos: origen y causas se han documentado de forma más exhaustiva en Carlotto et al. (1999), PREDES (2007), Carey (2005) y Carey et al. (2012). Las dos primeras publicaciones se centran en los aluviones que ocurrieron en la Cordillera del Vilcabamba con énfasis en los eventos de 1998. Los otros dos artículos se refieren a casos de aluviones ocurridos en la Cordillera Blanca.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan aspectos generales sobre los glaciares y las lagunas glaciares, tales como sus procesos de formación, los factores que influyen en su desarrollo, los cambios que se están observando de acuerdo a las mediciones realizadas y el efecto que el cambio climático está teniendo sobre estos dos componentes geográficos. Además, se describen las características climáticas e hidrológicas de los Andes tropicales, con énfasis en la Zona Tropical Exterior Andina donde se inserta el área de estudio. Luego, se explicará cómo se forman los GLOF y se presentarán los eventos de este tipo ocurridos en la Cordillera del Vilcabamba, principalmente los del año 1998, los cuales causaron un fuerte impacto negativo sobre la población de Santa Teresa.

2.1. Fundamentos de glaciología

A continuación se presentan los conceptos más elementales de esta tesis: los glaciares y las lagunas glaciares ambos elementos estrechamente vinculados en la medida que el primero determina la existencia del último. En primer lugar se tratará brevemente sobre la constitución y formación de los glaciares. Asimismo, se abordará el tema del balance de masa glaciario, aspecto que permite saber si este se encuentra estable, en retroceso o ha habido un incremento de su masa. Así como la diferencia existente entre la línea de equilibrio y la isoterma de 0°C. Luego, con respecto a las lagunas glaciares, se detallarán los aspectos asociados a su formación, tipos, efectos que tienen en la sociedad positivos y negativos, pero poniendo una mayor atención en el tema de los desastres que han originado.

2.1.1. Glaciares: Características y conceptos generales

Los glaciares se constituyen por cristales de hielo, nieve, aire, agua y derrubios de rocas (Huddart y Stott 2010). Tarbuck y Lutgens (2009) definen a los glaciares como “una gruesa masa de hielo que se origina sobre la superficie terrestre a partir de la acumulación, compactación y recristalización de la nieve”.

El “estado de salud de un glaciar” se puede conocer a través de su balance de masa. Esta es la concepción que plantea Knight (1999) en tanto que el balance de masa indica si ha habido un incremento, una reducción o si el glaciar se encuentra en estado de equilibrio. Los factores que influyen en la variación del balance de masa pueden ser climáticos o mecánicos, como las avalanchas o a través de desprendimientos de bloques glaciares cuando el frente del glaciar se encuentra en contacto con una laguna o el mar (*calving*), ambos contribuyen a la pérdida de masa glaciario o ablación. Otros procesos asociados con la ablación son el derretimiento, la sublimación y la erosión del viento. De todos los agentes implicados en la ablación glaciario el

derretimiento viene a ser el más importante y ocurre cuando el hielo y la nieve se encuentran sometidos al calor suministrado primordialmente por la radiación o por el intercambio de calor con el aire (Knight 1999). De otro lado, la acumulación es el conjunto de procesos que intervienen en el incremento de nieve y hielo en el glaciar. Entre estos procesos se tiene a la precipitación de nieve, de granizo, el congelamiento del agua líquida y la nieve que se ha acumulado como resultado de las avalanchas (Knight 1999; Huddart y Stott 2010).

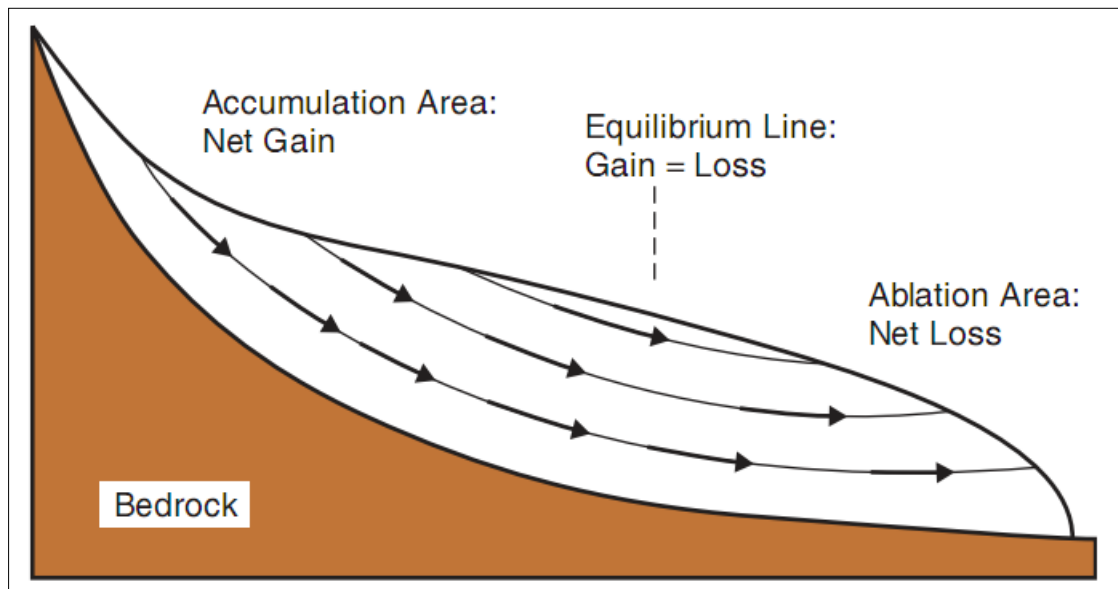


Figura 2: Los subsistemas de acumulación y ablación divididos por la Línea de Equilibrio (Huddart y Stott 2010)

La supervivencia de un glaciar en el tiempo va a depender de que exista un balance entre la acumulación y la ablación, ambos pueden identificarse como subsistemas del sistema glaciar que se encuentran separados por una línea conceptual denominada línea de equilibrio (ELA), la altitud a la que se encuentre esta línea va a depender del clima predominante y de la geometría de la cuenca glaciar, y se ubica donde el balance de masa es cero (UNEP y WGMS 2008). Si en un año la acumulación y la ablación son iguales, el balance de masa neto será cero, pero si la acumulación es mayor a la ablación, entonces el balance neto será positivo presentando un crecimiento y expansión glaciar; si la ablación supera a la acumulación sucederá lo contrario y si esta tendencia persiste a través de los años como última consecuencia, el glaciar podría correr el riesgo de desaparecer (Huddart y Stott 2010) (Ver Figura 2).

No se debe confundir a la ELA con la línea de isoterma de 0°C que divide al glaciar en una zona superior donde las precipitaciones son sólidas, y en una zona inferior donde las precipitaciones son líquidas. Además, la altitud a la que se encuentran ambas líneas no necesariamente llega a coincidir. En las regiones húmedas, debido a los altos niveles de acumulación, la altitud a la cual

se encuentra la ELA desciende. Esto quiere decir que la altitud de la ELA es menor a la altitud de la línea de isoterma de 0°C. En las regiones secas, donde la ablación representada por la sublimación se suma a una baja acumulación, la ELA se ubica a una elevación superior a la isoterma de 0°C. En los trópicos húmedos interiores de Sudamérica, la ELA se encuentra un poco debajo del nivel de la isoterma de 0°C, pero ambas se van aproximando, a medida que nos vamos acercando a los trópicos exteriores donde la humedad va disminuyendo; sin embargo, nuevamente ambas líneas comienzan a separarse una de la otra cuando se ingresa a la extremadamente seca región subtropical que comprende el sur de Bolivia y el norte de Chile, donde la ELA es un poco superior a la línea de la isoterma de 0°C. En la Cordillera Blanca, ubicada al noroeste de la Cordillera del Vilcabamba, la ELA se encuentra relativamente por encima de la línea de los 0°C (Kaser y Osmaston 2002).

Las variaciones en el balance de masa en la base del glaciar son en la mayoría poco significativas, a menos que se trate de una zona con un alto calor geotérmico; en cambio, en la superficie, las variaciones de la masa glaciar son más marcadas. Sin embargo, es a una escala altitudinal donde se observan las mayores variaciones. En las zonas más elevadas la acumulación anual neta es más intensa y disminuye conforme se va descendiendo a altitudes más bajas donde paralelamente la ablación va tomando mayor importancia. La variación altitudinal del balance de masa se mide a través del Perfil Vertical del Balance (PVB) que consiste en un cálculo del balance de masa por unidad de área o balance de masa específico (en kg m^{-2} o en m we, metros equivalentes de agua por sus siglas en inglés) en diferentes elevaciones. Las variaciones también se dan horizontalmente pero estas son mucho menos importantes que las que ocurren a escala vertical. La temperatura del aire es el factor más importante que va a determinar la variación del balance de masa altitudinalmente. Sin embargo, a escala latitudinal su impacto será mayor en las latitudes medias y altas donde existe una alta correlación entre este parámetro y el derretimiento del hielo y la nieve. Por ello, en estas zonas la acumulación tiene lugar en los meses fríos de invierno mientras que la ablación persiste en verano (Kaser y Georges 1999, Rabatel et al. 2013). En cambio, en las latitudes bajas, la variación estacional entre la acumulación y la ablación dependerá de la estacionalidad de las precipitaciones mientras que la temperatura, definirá la distribución altitudinal de las áreas correspondiente a la acumulación y a la ablación en un glaciar (Kaser y Osmaston 2002).

2.1.2. Lagunas glaciares: Formación y tipos de lagunas

Las lagunas glaciares son un elemento común de los paisajes de alta montaña (Huggel et al. 2002) y las situaciones en las que pueden formarse son diversas (Huddart y Stott 2010). De acuerdo a Huddart y Stott (2010), las lagunas glaciares pueden ser marginales, represadas por

los glaciares en valles libres de hielo, ubicarse al término de un glaciar o adyacente a él adquiriendo el nombre de laguna pro-glaciar, o formarse en áreas donde hay depresiones, un ejemplo de ello son las lagunas *kettlehole*. La UGRH (2012a, 2012b) establece que el dique de las lagunas puede ser morrénico, de escombros, de roca y mixto. Además, Huggel et al. (2002) agregan a las lagunas represadas en hielo. La frecuencia en la que se forma una laguna de uno u otro tipo en una región determinada va a depender de variables climáticas, glaciológicas, topográficas, geológicas, entre otras (Haeberli et al. 2013).

Cuando los glaciares avanzan, las lagunas pueden desarrollarse en valles donde se han formado diques de escombros, cohesionados por congelamiento, que los atraviesan. Al replegarse los glaciares, también se pueden formar nuevas lagunas en los espacios que se generan entre las morrenas frontales o laterales y el hielo glaciar que se encuentra en retroceso (Kaltenborn et al. 2010). Es importante mencionar que la formación de lagunas pro-glaciares no solamente responde a la existencia de morrenas detrás de las cuales se forman las lagunas, sino también a depresiones que hayan quedado expuestas por la desglaciación (Frey et al. 2010). Además, lo que sucede con mayor frecuencia es el origen y desarrollo de nuevas lagunas detrás de morrenas terminales o en la parte terminal del glaciar (Haeberli et al. 2013).

Los efectos que tienen la formación de estas nuevas lagunas pueden ser positivos desde la perspectiva del atractivo (turístico) que le agregan al paisaje, lo cual compensa la pérdida de valor paisajístico que genera el derretimiento glaciar. Al mismo tiempo, estas lagunas poseen un potencial para la producción de energía hidroeléctrica y agua potable. No obstante, de otro lado, también pueden constituirse en una amenaza para las poblaciones e infraestructuras que se encuentran en las zonas bajas de los valles (Frey et al. 2010, Haeberli et al. 2013).

Desde el final de la LIA, el retroceso de los glaciares de todas las montañas del mundo ha originado la formación de varias lagunas en lugares que antes estaban cubiertos por hielo glaciar y que son represadas con diques inestables y precarios detrás de los cuales estas lagunas se han ido expandiendo. En años recientes, conforme al mayor derretimiento glaciar, este proceso se está acelerando y las lagunas de alta montaña de varias regiones cada vez se forman más rápidamente (Haeberli et al. 2013).

Debido al intenso retroceso glaciar que está teniendo lugar desde el siglo XX, se han formado lagunas peligrosas, principalmente, detrás de depósitos morrénicos que se han establecido durante los períodos de avance glaciar, siendo los más importantes, la LIA y a inicios del Holoceno durante el Dryas Reciente. Las lagunas con dique morrénico son las que han originado más desastres alrededor del mundo (Huggel et al. 2002) causando daños de miles de millones

de dólares en infraestructura y la pérdida de muchas vidas (McKillop y Clague 2006). El desembalse en las lagunas ocurre por una falla en el dique morrénico o de hielo, o también por la influencia de otros agentes catalizadores tales como la actividad sísmica, derrumbes de tierra o avalanchas (Kaltenborn et al. 2010).

2.2. Los glaciares de los Andes Tropicales

La distribución de los glaciares tropicales alrededor del mundo depende de tres factores que van a delimitar su localización. Estos deben encontrarse entre los trópicos astronómicos, en un área en el que la variación de la temperatura entre el día y la noche sea más marcada que la variación anual y que además se encuentre dentro de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT) (Kaser y Georges 1999).

En los Andes tropicales se localizan el 99% de todos los glaciares tropicales del mundo. El Perú alberga más del 70% de estos glaciares (Kaser y Osmaston 2002), y la mayor cantidad de estos se ubican en la Cordillera Blanca donde se encuentran aproximadamente un cuarto de todos los glaciares tropicales del mundo, que representa unos 528 km² de área glaciaria (UGRH 2014b).

El rol de los glaciares como reguladores naturales del caudal de los ríos y quebradas, es aún más importante en las zonas tropicales (exteriores), como en los Andes Centrales, que en las latitudes medias. Esto se debe a que las condiciones climáticas, que hacen que la ablación se dé durante todo el año, no favorecen la formación de una cobertura de nieve duradera en zonas externas a las formaciones glaciares. Si bien el derretimiento de la nieve durante la primavera y los inicios del verano asegura el aprovisionamiento de agua en lugares como los Alpes; en los trópicos, es aún más vital, pues los glaciares son la reserva de agua de mayor importancia (Vuille et al. 2008a, 2008b). Además, el suministro de agua que proviene de los glaciares alivia la diferencia estacional que persiste en los trópicos exteriores, dividida en una temporada húmeda y seca, al ser la época seca el período de mayor escurrimiento de agua proveniente del glaciar (Painter 2007).

El aporte de los glaciares para el suministro de agua es sobre todo importante en la vertiente del Pacífico, ya que, estos se constituyen en su principal fuente de agua (Vuille et al. 2008a). Con el agua proveniente de los glaciares se asegura la subsistencia de diferentes ecosistemas y la mayoría de la población, actividades agropecuarias e industriales (Coudrain 2005). El 98% del agua del país se encuentra hacia el lado oriental de los Andes (cuenca del Atlántico), donde la densidad poblacional es baja y la agricultura es una actividad marginal. Por el contrario, la vertiente occidental Andina (cuenca del Pacífico) concentra la mayor cantidad de población y

actividades económicas, pero es una región seca (2% del agua dulce nacional disponible) que depende de los glaciares como reguladores hídricos (Vergara et al. 2007).

2.2.1. La Zona Tropical Exterior Andina

La zona tropical exterior de la Cordillera Andina comprende a los países de Perú y Bolivia (Rabatel et al. 2013). En esta región se dan condiciones tropicales durante la temporada húmeda de Octubre a Marzo y condiciones subtropicales en la temporada seca de Mayo a Septiembre (Kaser y Georges 1999, Rabatel et al. 2013). A diferencia de las temperaturas que no varían de forma tan acentuada; la humedad específica, la cobertura de nubes y las precipitaciones sí presentan una variación estacional bastante marcada. Las precipitaciones, principalmente se concentran en la estación húmeda y se forman como resultado del flujo de humedad que proviene de la cuenca Amazónica. La intensidad de la radiación es más o menos constante durante todo el año, pero su efecto se reduce por la formación de nubes estacionales que tienen su máximo desarrollo en el verano austral (Rabatel et al. 2013).

Estas características van a ser determinantes para que en los glaciares de los trópicos exteriores se dé una acumulación glacial significativa en la temporada húmeda y sobre todo en las zonas altas de los glaciares (Kaser y Georges 1999). En la estación seca no hay acumulación, y la ablación también disminuye debido a que una pérdida glacial reducida se da principalmente por la sublimación; no obstante, a diferencia de la acumulación, la ablación se mantiene a lo largo de todo el año (Kaser y Georges 1999, Kaser y Osmaston 2002). Esta diferencia lo distingue de los glaciares de los trópicos interiores donde las condiciones húmedas se mantienen durante todo el año en mayor o menor intensidad lo que hace que el balance de masa no varíe significativamente y que la acumulación sea constante en mayor o menor medida a lo largo del año (Kaser y Georges 1999) (Ver Figura 3).

Se definen tres momentos en la intensidad del derretimiento y acumulación glacial en los trópicos exteriores. El primero se da en la estación seca entre los meses de Mayo a Agosto. En esta época no hay acumulación y el derretimiento es poco significativo principalmente por el déficit en la radiación de onda larga del balance de energía de la superficie que se genera por la poca presencia de nubes a elevadas altitudes, con lo que la emisividad es baja; además, como resultado de las condiciones secas, la mayor cantidad de la energía disponible es utilizada por la sublimación quedando poco para el derretimiento. Entre Setiembre y Diciembre, meses de transición entre las temporadas húmeda y seca, donde las precipitaciones aún no son abundantes, el derretimiento va incrementándose hasta alcanzar sus valores anuales más elevados entre Noviembre y Diciembre. En este momento la radiación solar llega a su punto más

alto y el albedo glaciario disminuye, porque la cobertura de nubes es todavía baja. El derretimiento va decayendo con el inicio de la temporada húmeda que trae consigo mayor cantidad de precipitaciones sólidas entre Enero y Abril; no obstante, el derretimiento se mantiene por la influencia de la radiación de onda larga emitida por las nubes (nubes convectivas) y además porque al incrementarse la gradiente de humedad se pierde un mayor volumen del glaciario por derretimiento y no por sublimación. De este modo, el inicio de la temporada húmeda es esencial para interrumpir el intenso retroceso glaciario que se origina por el efecto de la radiación solar. No obstante, con la ocurrencia de eventos interanuales de El Niño la temporada húmeda se retrasa causando un amplio retroceso glaciario (Rabatel et al. 2013).

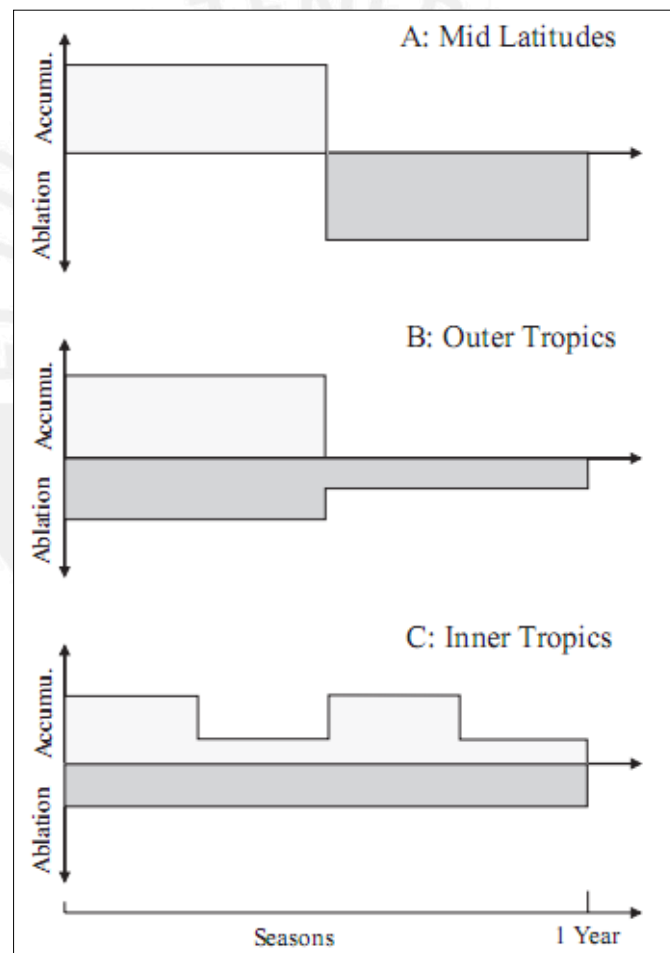


Figura 3: Representación esquemática del balance de masa anual en latitudes medias, los trópicos exteriores e interiores (Kaser y Osmaston 2002)

Si bien se ha señalado a las precipitaciones como el parámetro climático principal que define la variación estacional del balance de masa en los trópicos exteriores, otros factores como la temperatura, humedad y la presencia de nubes también son factores influyentes. En primer lugar,

las precipitaciones sólidas van a ser responsables del avance o el menor retroceso glaciar, y también tiene un efecto directo en el albedo (Rabatel et al. 2013). De otro lado, la temperatura juega un rol importante al controlar la altitud a la que se encuentra la ELA (Kaser y Osmaton 2002) y su impacto en el balance de masa resulta significativo a una escala interdecadal (Vuille et al. 2008a). La humedad determina la repartición de la energía disponible en energía para el derretimiento y la sublimación, a mayor humedad aumenta la presión del vapor entre la nieve y el aire con lo que se incrementa la pérdida glaciar por fusión directa y se reduce la sublimación (Vuille et al. 2008a, Vuille et al. 2008b, Vuille et al. 2003). Para que la nieve pueda sublimarse, se requiere alrededor de ocho veces más energía que la que se necesita para derretirla, con lo que la fusión directa resulta energéticamente más eficiente y en un mayor derretimiento glaciar (Vuille et al. 2003). Además el vapor que se obtiene por la sublimación puede resublimarse y volverse a convertir en hielo. La nubosidad, de otro lado, interviene en las variaciones estacionales de los flujos de energía, siendo importante en las radiaciones de onda corta y larga. La presencia de menos nubes, incrementa la intensidad de la radiación de onda corta incidente sobre la superficie terrestre (Francou et al. 2004).

2.2.2. Impactos del Cambio Climático

El 5º Informe de Evaluación del IPCC (2013) refiere que el retroceso glaciar es un hecho prácticamente global a causa del incremento de la temperatura; además, las regiones que han tenido las mayores tasas de reducción son: el oeste canadiense y norte americano, Europa central y en las latitudes bajas. En estas regiones más de 600 glaciares han desaparecido en las últimas décadas. Mientras que los glaciares que aún persisten han sufrido una disminución de su área y volumen.

Se ha reconocido el papel de las montañas glaciares como indicadores del cambio climático (Coudrain et al. 2005, Lemke et al. 2007, UNEP y WGMS 2008); no obstante, los glaciares tropicales son mucho más sensibles (Kaser y Osmaton 2002, Vuille et al. 2008a, Pouyaud et al. 1998). A diferencia de las latitudes medias y altas donde la acumulación se da en la larga temporada de invierno y la ablación, en verano (Kaser y Georges 1999); en los trópicos, la ablación se mantiene durante todo el año por debajo de la línea de equilibrio. Es por ello, que un cambio en el clima traería consigo una respuesta a corto plazo por parte de la zona de ablación del glaciar (Rabatel et al. 2013).

Ante la naturaleza particular de los glaciares tropicales, un probable incremento en la temperatura de 2.6°C (RCP 4.5) hasta 4.8°C (RCP 8.5) por encima de los 4000 msnm, proyectado para el 2100 (IPCC 2013), sin un incremento en las precipitaciones reduciría

drásticamente la cobertura glaciaria o llevaría a la total desaparición de los glaciares pequeños, cuya máxima elevación se encuentra próxima a la altitud de la ELA. La ELA, en los Andes tropicales, alcanza la máxima altitud de aproximadamente 5400 msnm. En los períodos en los que el balance de masa es bastante negativo, los glaciares que tienen una altitud máxima superior a los 5400 msnm pueden preservar una zona de acumulación; mientras que los glaciares que no superan esta altitud están sometidos a un proceso de ablación constante. Esto se ha estimado en base a los glaciares que cuentan con balances de masa que se han realizado en series temporales (Rabatel et al. 2013).

Los glaciares de los Andes tropicales han comenzado a reducir su cobertura glaciaria a una escala sin precedentes desde el PME de la Pequeña Edad de Hielo. A finales del siglo XVIII y la primera mitad del XIX se dio una pequeña disminución de la masa glaciaria. El retroceso glaciario se hizo más marcado a partir de 1840 y en la segunda mitad del siglo XIX (alrededor de 1870 hasta los inicios del siglo XX) se aceleró aún más (Rabatel et al. 2013).

En la Cordillera Blanca, los estudios realizados sugieren que el retroceso se aceleró a finales del siglo XIX; sin embargo, durante la primera mitad del siglo XX, la tasa de decrecimiento glaciario disminuyó, coincidiendo con un pequeño avance glaciario en la década de los 20s; no obstante, seguido por un retroceso substancial en los años 30 y 40. Posteriormente, entre las décadas de los 50 y 70 el retroceso fue más lento, pero después de este período se dio un decrecimiento acelerado más significativo aún en las últimas dos décadas (Rabatel et al. 2013). La UGRH (2014b) estimó que entre los 1960s y los 2000s, la cobertura glaciaria en la Cordillera Blanca se redujo de 723Km² a 528Km², es decir en un 27%.

De manera general, Rabatel et al. (2013) mencionan que durante las últimas décadas el proceso de retroceso glaciario en los Andes Tropicales se ha acelerado desde finales de los 70s. A partir de este momento la tasa de decrecimiento glaciario fue aumentando gradualmente y a una escala sin precedentes desde el PME. Esta tendencia se ha mantenido incluso a pesar de que se han presentado ciertos años con una menor tasa de retroceso, e incluso, pequeños avances como en el caso de Ecuador entre 1999 y el 2000, producto del efecto enfriador de La Niña. Algunas investigaciones revelan que estos cambios están directamente asociados con un incremento en la temperatura, debido a que no se cuenta con suficientes datos que puedan definir tendencias claras en los otros parámetros como las precipitaciones, humedad y la actividad convectiva; no obstante los estudios que se han podido realizar apuntan a que también estas variables climáticas han experimentado cambios (Rabatel et al. 2013; Vuille et al. 2008a). La temperatura cercana a la superficie se incrementó en los últimos 70 años y, desde 1939 el incremento ha sido de 0.68°C lo cual corresponde a un aumento de 0.1°C/década (Vuille et al. 2008a). En tanto que

la temperatura define la posición de la línea de equilibrio, un incremento en la misma significa que la línea de equilibrio seguirá elevándose altitudinamente reduciendo el área donde predomina la acumulación.

Vuille et al. (2003, 2008a) señalan que hacia el norte de los 11°S (en Ecuador y la parte nor-central del Perú) parece que las precipitaciones se han incrementado; mientras que, en el sur peruano y el Altiplano Boliviano, las estaciones meteorológicas indican que se están dando condiciones más secas. En cuanto a la humedad, ha habido un aparente incremento registrado para Ecuador y Bolivia (Rabatel et al. 2013) esto quiere decir que se está reduciendo el gradiente de vapor de presión entre el glaciar y el aire que se encuentra sobre él, así como, el flujo de calor latente, haciendo que la sublimación se reduzca y que aumente la cantidad de energía utilizada en el derretimiento incrementando la pérdida de la masa glaciar (Vuille et al. 2008b). En los trópicos exteriores, parece que la nubosidad ha disminuido en los meses de Diciembre a Febrero, y en los trópicos interiores se ha incrementado, lo que corresponde con los datos de precipitaciones (Vuille et al. 2008a, Rabatel et al. 2013).

De otro lado, Rabatel et al. (2013) y Vuille et al. (2008a) también rescatan el rol del ENSO como el agente climático regional de mayor importancia en la variabilidad glaciar en los Andes Tropicales. Con el fenómeno de El Niño los glaciares experimentan un balance de masa negativo; en cambio, durante La Niña, el balance de masa se mantiene cercano a cero o ligeramente positivo. La mayor ocurrencia de eventos El Niño desde finales de los 1970s, siendo los más importantes los de los años 1982/1983 y 1997/1998; en conjunto con el calentamiento de la tropósfera sobre los Andes tropicales, pueden ser consideradas como las causas más directas del retroceso glaciar en esta área (Rabatel et al. 2013). Sin embargo, la respuesta glaciar ante el ENSO no es uniforme en los Andes. La correlación disminuye, por ejemplo, para el caso de la Cordillera Blanca, donde no en todos los años los eventos de El Niño y la Niña generarán el impacto esperado en las superficies glaciares. Esto se debe a la influencia de otros factores que resultan más decisivos, sobre todo, durante los períodos neutrales del ENSO (Vuille et al. 2008a, Vuille et al. 2008b).

Como resultado de la pérdida de la cobertura glaciar, se está dando un incremento temporal en los flujos de agua corriente abajo. No obstante, en tanto que el agua congelada almacenada en los glaciares irá disminuyendo paulatinamente, este incremento no durará por mucho tiempo. Hacia el futuro, es difícil saber con exactitud en qué medida se reducirán las áreas glaciares; así como, el momento exacto en el que el suministro de agua podría agudizarse por la reducción glaciar. Esto va a depender del escenario de emisiones en base al cual se van a realizar las

proyecciones y de las características del glaciar, por ejemplo, el porcentaje de área glaciar o la hipsometría de la cuenca glaciar (Vuille et al. 2008a).

Los países andinos que tienen un alto grado de dependencia del agua de origen glaciar, como Perú y Bolivia, se encuentran en una situación problemática (Rabatel et al. 2013). El Perú, sobre todo, se ubica en una situación de mayor vulnerabilidad ante el estrés hídrico futuro. Alrededor del 70% de su población habita en el lado occidental de la Cordillera Andina, una de las zonas más áridas del mundo y donde también se desarrolla la mayor parte de la actividad económica. El aprovisionamiento de agua en esta región depende de 50 ríos alimentados por las precipitaciones, el derretimiento de nieve y el derretimiento glaciar que representan apenas el 2% del agua disponible en este país, pero que resulta vital para que esta región no se convierta en un desierto (Painter 2007).

Los impactos del derretimiento glaciar en la generación de desastres son también de vital importancia. Se ha reportado la ocurrencia de desastres originados por avalanchas y el desembalse de lagunas en diversas partes del mundo (Haeberli et al. 2013).

En los Andes Peruanos se han registrado eventos aluviónicos que han provocado desastres considerables con pérdidas humanas y materiales. Los factores que propician la ocurrencia de estos fenómenos, de acuerdo a Zapata (2002) son:

- 1) Existencia de lagunas cercanas al glaciar, en contacto o en proceso de desconexión con el glaciar
- 2) Presencia de frentes glaciares colgantes (*Séracs*)
- 3) Grietas tensionales (horizontales y verticales) en el cuerpo glaciar
- 4) Naturaleza del dique y de los flancos de las lagunas (morrénico, escombros, de roca y mixto)
- 5) Tamaño de las lagunas y volumen disponible
- 6) Características estructurales y de las rocas circundantes
- 7) Condiciones geomorfológicas del valle

2.3. Origen y características de Avenidas Repentinas por el Desembalse de Lagunas Glaciares (GLOF) y eventos ocurridos en la Cordillera del Vicabamba

La ocurrencia de un GLOF (Glacial Lake Outburst Flood) está asociada a una serie de amenazas que tornan la situación mucho más compleja. En las zonas de alta montaña se dan diferentes tipos de movimientos de masa que por sí mismos pueden representar una amenaza, pero que también interactúan con más componentes en el área como las lagunas alto-andinas. De esta manera se convierten en agentes catalizadores de un desastre encadenado al entrar por ejemplo un bloque de hielo en contacto con una laguna formando una ola que puede llevar al desembalse de la laguna y arrastra material rocoso y del suelo. Por lo tanto estos procesos incrementan el potencial de amenaza.

Haeberli et al. (2013) describen claramente los diferentes procesos paralelos a la formación de nuevas lagunas que en conjunto ocasionan el evento. La reducción del hielo glaciar no sólo origina la formación de nuevas lagunas, sino que también contribuye en la desestabilización de las pendientes, al ejercer su efecto erosivo a medida que el glaciar retrocede, y en la degradación del permafrost generando desprendimientos de roca y flujos de detritos. Además, el incremento de las temperaturas derrite el agua que luego se percola al interior del glaciar, modificando la temperatura de la neviza de fría a politermal o temperada e incrementando así la posibilidad de ocurrencia de avalanchas de hielo, ya que, las masas de hielo frías resultan ser más estables en pendientes empinadas, que las masas temperadas. En la actualidad ya se ha documentado la ocurrencia de varias avalanchas de hielo y roca en diferentes partes del mundo relacionadas al derretimiento glaciar.

De otro lado, el retroceso glaciar genera un incremento de sedimentos y de material inconsolidado disponible. Al finalizar la LIA, las áreas conformadas por morrenas y sedimentos poco consolidados quedaron descubiertas y ahora estas zonas están proclives a que en algún momento una de sus pendientes se quiebre o que se originen grandes flujos de detritos.

De acuerdo a Carey (2010), los Andes Peruanos han sido el escenario de los desastres glaciares más catastróficos del planeta en el último siglo. En la Cordillera Blanca se ha estimado que alrededor de 30 mil personas han perdido la vida por causa de al menos 30 desastres vinculados con los glaciares desde 1941.

En el año 1998 se generaron sucesivos eventos aluviónicos en la Cordillera del Vilcabamba, dos de ellos de importancia por la magnitud de su impacto: El de Aobamba (27 de febrero) y el de Sacsara (13 de enero). Los impactos que estos aluviones generaron no solamente se sintieron a

nivel social y económico, sino también ambiental. Dejando los cauces de los ríos desestabilizados por la fuerza erosiva del flujo y desprotegidos de la cobertura vegetal que se encontraba en el recorrido del aluvión. Carlotto et al. (1999), se describe detalladamente cada uno de estos eventos.

El río Aobamba nace de la confluencia de los ríos Orcospampa y Rayancancha, los cuales tienen su origen en el nevado Salcantay. Anteriormente, el 12 de julio de 1996, la laguna morrénica de Sisaypampa, ubicada al pie del flanco noreste del nevado Salcantay, se desembalsó producto de la caída de masa glaciaria. La morrena existente, fue erosionada y transportada por la fuerza del agua hacia la quebrada de Orcospampa, donde la erosión lateral destruyó algunas viviendas y terrenos de cultivo, causando la muerte de 5 personas que habitaban una de las viviendas que se encontraban en el borde del río. Sin embargo este aluvión no dejó efectos importantes en la vía férrea, ni en la Central Hidroeléctrica de Macchupicchu.

El 27 de febrero de 1998 se originó un aluvión en las nacientes de la quebrada Rayancancha en las faldas del Salcantay (Pacchac Grande), el cual se desplazó por el río Aobamba hasta llegar al valle del Urubamba donde se represaron sus aguas. Las posibles causas de este fenómeno son la saturación del material morrénico en las cabeceras de agua de la quebrada Rayancancha que se generaron debido a la intensa fusión glaciaria, que fue aún más fuerte por las mayores temperaturas que se originaron y que posiblemente se deba a El Niño. De otro lado, las fuertes lluvias que se suscitaron días anteriores al aluvión, saturaron los suelos; y, adicionalmente, la inestabilidad del material morrénico y la pendiente regularmente marcada de la zona también contribuyeron a la ocurrencia del fenómeno. En algunos lugares el flujo alcanzó una altura de 40 metros y el volumen del flujo arrastrado se estima entre 25 a 50 millones de metros cúbicos aproximadamente.

Como resultado del represamiento de las aguas del río Urubamba, se inundaron las instalaciones de la Central Hidroeléctrica de Machupicchu. Los puentes de Santa Teresa, Chaullay y Maranura fueron destruidos por el aluvión; así como, gran parte del tramo de la vía férrea que conectaba la Central Hidroeléctrica con Quillabamba. Los efectos del aluvión llegaron hasta el Pongo de Mainique, donde diferentes sectores de la carretera fueron afectados por la erosión, y algunos puentes desestabilizados (Ver Figura 4).

El 22 de noviembre del mismo año, un nuevo aluvión afectó las quebradas de Orcospampa y Aobamba debido al desprendimiento de lenguas glaciares sobre una laguna. Además, el incremento del nivel del caudal del río ocasionado por las fuertes lluvias incrementó el poder

erosivo del flujo sobre taludes que en varias zonas ya habían sido desestabilizados por los aluviones de febrero y marzo, principalmente a la altura de Kente Chico y Kente Grande.

El 13 de enero se produjo la llegada de material aluviónico a la confluencia de los ríos Sacsara y Urubamba, en cuyos alrededores se encuentra el poblado de Santa Teresa en el kilómetro 121 de la antigua vía férrea Cusco-Quillabamba.



Figura 4: El Río Aobamba antes (izquierda) y después (derecha) del aluvión del 27 de febrero de 1998. Vista tomada hacia el sur (Carlotto et al. 1999)

De acuerdo a las encuestas realizadas a los pobladores, intensas lluvias se registraron en la tarde del 13 de enero. Además, los encuestados señalaron que se suscitaron actividades sísmicas en los días anteriores, y en efecto, se comprobó la ocurrencia de un sismo entre las 11 y 12 pm del 10 de enero, el cual fue sentido por algunos pobladores de la parte alta. En tal sentido, las posibles causas de la ocurrencia de este aluvión son la saturación de las masas morrénicas en las cabeceras de la quebrada por las intensas lluvias y la fusión glaciaria, la inestabilidad del dique morrénico y la marcada pendiente de la zona de arranque, que en

conjuntos con los eventos sísmicos de los días anteriores, generaron las condiciones para la ocurrencia del aluvión.

Como causa de este evento se destruyó casi completamente el poblado de Yanatile, la carretera Santa Teresa-Yanatile y su prolongación hacia la zona alta del río Sacsara. El poblado de Santa Teresa también fue destruido, la estación de ferrocarril, y se llevó consigo la península que separaba los ríos Sacsara y Santa Teresa. Sin embargo, el aluvión de la quebrada de Aobamba del 27 de febrero terminó por destruir el poblado de Santa Teresa y la línea férrea.



3. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la tesis *Análisis de la evolución de las lagunas de alta montaña en la Cordillera del Vilcabamba (Cusco y Apurímac) entre los años 1991-2014 mediante métodos de sensoramiento remoto y SIG* consta de cinco fases (Ver Figura 5). En la primera fase se recopilaron los datos cartográficos y satelitales necesarios para delimitar las áreas lagunares y glaciares, así como para la identificación de parámetros. La segunda fase comprende el pre-procesamiento de las imágenes Landsat (ortorrectificación y evaluación de calidad de los productos para la elección del producto con menor error geométrico). En la fase 3, mediante la aplicación de índices y a través de la construcción de dos *ModelBuilder* se pudieron delimitar los polígonos correspondientes a lagunas y glaciares. En la fase 4 se derivaron los parámetros de área, altitud, distancia laguna - glaciar, período de aparición y distancia laguna - centro poblado de los polígonos obtenidos en la fase 3. Finalmente, en la fase 5 se analizaron los resultados en comparación con los estudios realizados por Suarez et al. 2013 y la UGRH (2012b y 2014a, 2014b). Además, se formularon criterios para la identificación lagunas que representan una potencial amenaza.

3.1. Fase 1: Recopilación de datos

Esta fase abarca la recopilación de datos cartográficos y satelitales que sirvieron para la identificación de lagunas y glaciares en los años 1991, 2001, 2010 y 2014. Con respecto a los datos cartográficos, se descargaron las cartas nacionales digitalizadas 27-p, 27-q, 27-r, 28-p y 28-q; disponibles desde el portal ESCALE del MINEDU (2014). A través de esta página también se accedió a la data de centros poblados actualizado al 23/04/14. La información de cuencas hidrográficas se obtuvo de la página web del GEOSERVIDOR del MINAM (2014); y la delimitación del área de la Cordillera del Vilcabamba fue proporcionada por la UGRH. En todos estos casos la información se encontraba en formato vectorial.

Para la recopilación de los datos satelitales primero se dio lectura a la información técnica (características y descripción de productos). Se optó trabajar con imágenes Landsat 5 y 8 por la facilidad de obtención, periodicidad de las mismas y disponibilidad histórica (desde 1984 para las imágenes Landsat 5TM). Se puede acceder a estas imágenes desde el portal web del USGS Global Visualization Viewer (GLOVIS). Para la selección de las escenas se tomó en cuenta el período de captura de la imagen, que para efectos del tema de investigación debe ser durante la temporada seca (Junio-Septiembre), lo que permite delimitar con mayor exactitud los bordes glaciares y evitar confusiones en la interpretación de nieve temporal con hielo. Asimismo, el menor contenido de humedad y de nubes evita alteraciones en los valores de los píxeles de las imágenes, por tanto, la cobertura de nubosidad debe ser mínima en el área de estudio con un

nivel de calidad de 9 y de corrección L1T, lo cual indica que estas escenas ya se encuentran corregidas geoméricamente y radiométricamente (Ver Tabla 4).

Características	Landsat 5: Thematic Mapper (TM)	Landsat 8: Operational Land Imager (OLI)
Altitud del satélite	705 km	705 km
Órbita	Polar, sincrónica al sol	Polar, sincrónica al sol
Resolución espectral	7 bandas	11 bandas
Resolución espacial	Bd.1-5 y 7: 30m, Bd.6: 120m	Bd.8: 15m, Bd.1-7 y 9: 30m, Bd.10-11:100m
Resolución temporal	16 días	16 días
Resolución radiométrica	8 bit	16 bit
Dimensiones de la escena	183 km x 183 km	183 km x 183 km

Tabla 4: Especificaciones de las imágenes Landsat 5 Thematic Mapper (TM) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) (NASA 2014)

Luego, se seleccionaron las imágenes con path/row (4/69 y 5/69) que cumplieran con los criterios de calidad y requisitos para el estudio en diferentes años. Se optó trabajar con escenas Landsat 5 TM (1991, 2001 y 2010) y 8 OLI (2014). En la Tabla 5, se precisa con mayor detalle las características de cada una de las escenas que se emplearon en este estudio.

Fecha	Código	Path / Row	Sensor	Cloud Cover (%)	Calidad / Nivel de corrección
01/07/1991	LT50040691991182CUB00	4 69	5 TM	10	9/L1T
08/07/1991	LT50050691991189CUB00	5 69	5 TM	0	9/L1T
13/08/2001	LT50040692001225CUB02	4 69	5 TM	14	9/L1T
04/08/2001	LT50050692001216CUB02	5 69	5 TM	21	9/L1T
05/07/2010	LT50040692010186CUB00	4 69	5 TM	10	9/L1T
12/07/2010	LT50050692010193CUB00	5 69	5 TM	19	9/L1T
29/05/2014	LC80040692014149LGN00	4 69	8 OLI	12	9/L1T
05/06/2014	LC80050692014156LGN00	5 69	8 OLI	12	9/L1T

Tabla 5: Características de escenas Landsat que se emplearon en la investigación

Para la obtención de la información topográfica (altitud) se optó trabajar con el producto libremente accesible SRTM. Este DEM se generó basado en Radar y a pesar de su menor resolución espacial de 90 m es más adecuado para este estudio que el producto ASTER GDEM (30 m) que está basado en estereoscopía conteniendo más errores. Se trabajó con la versión 3 del SRTM (USGS 2013), por superar los problemas que se encontraban en versiones anteriores.

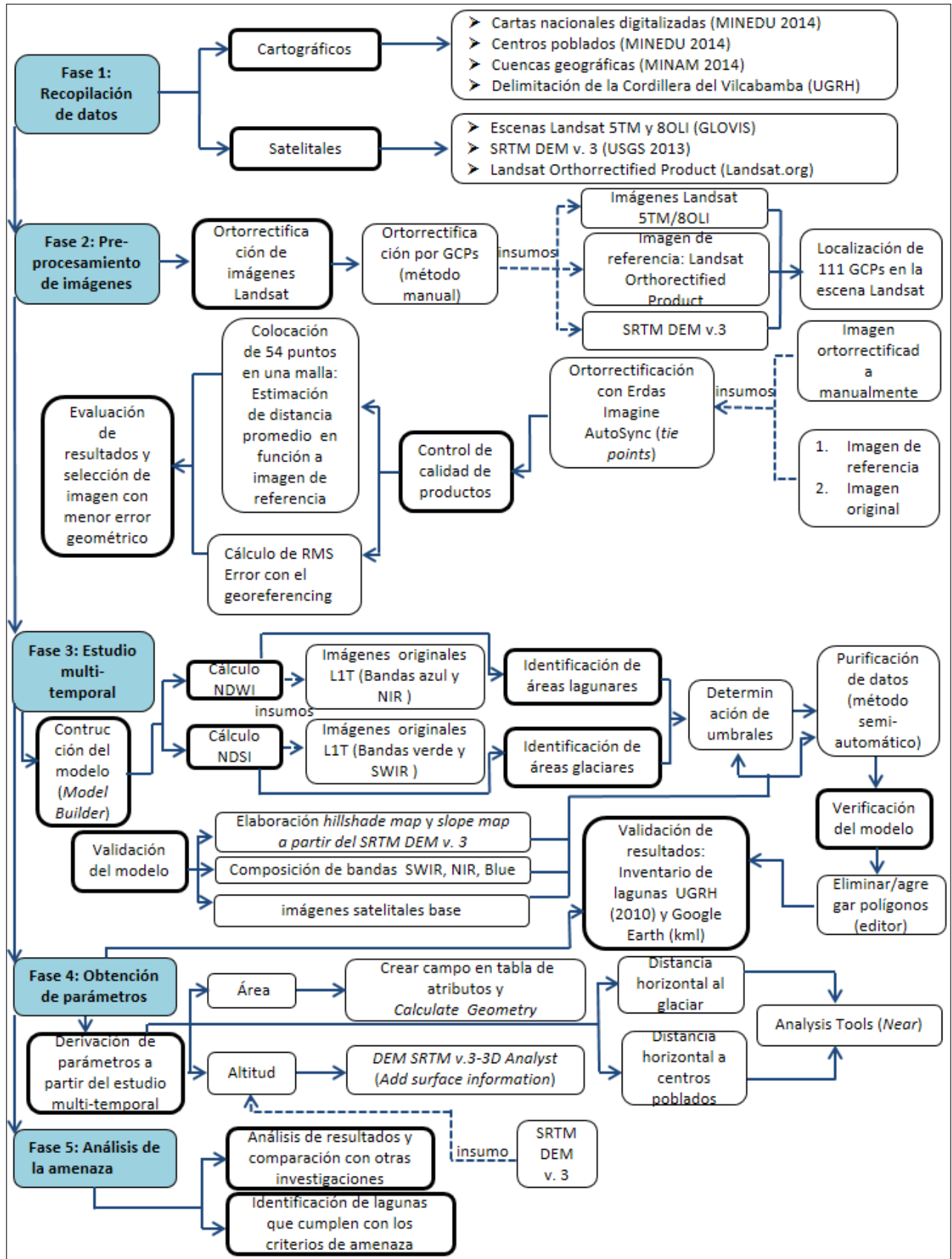


Figura 5: Flujo de trabajo, insumos y organización de procedimientos técnicos

Con respecto a la ortorrectificación, proceso que tiene como propósito reducir o superar las distorsiones geométricas que se originan en la plataforma, el sensor o que son provocadas por la rotación de la Tierra (Chuvieco 1996), se requirió de imágenes de referencia. Las dos principales fuentes de cobertura global de imágenes ortorrectificadas que se dispone gratuitamente son el Geocover (descargado del Global Land Cover Facility) y el Landsat orthorectified product (descargado del Landsat.org). Dado que la escena S-18-10 del Geocover, que cubre el área de estudio presenta algunos errores como distorsiones en la imagen y gráficos sobrepuestos que dificultaban la ortorrectificación se seleccionó el Landsat orthorectified product como imagen de referencia (Ver Figura 6).

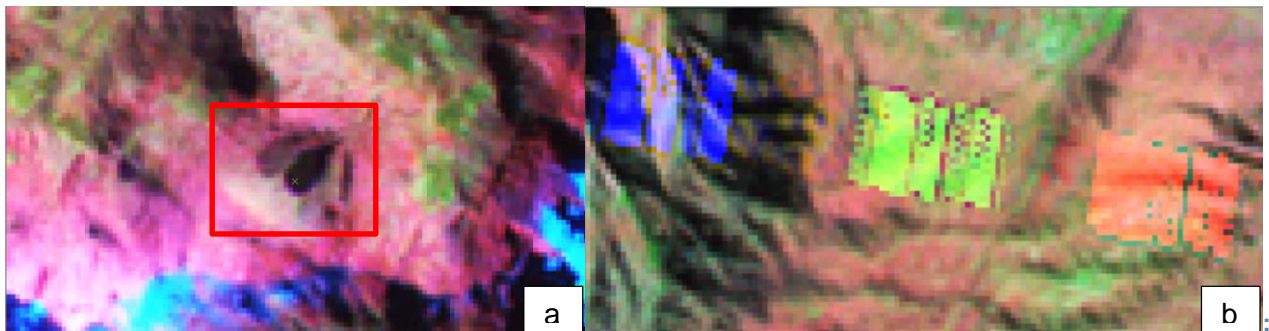


Figura 6: Se visualizan a) Distorsiones en la laguna, b) Falla técnica en el sensor.

3.2. Fase 2: Pre-procesamiento de imágenes

Esta fase consta de dos etapas. En la primera se realizó la ortorrectificación tanto a través del método manual, como del método de puntos de enlace (*tie points*). Los productos empleados para desarrollar ambos métodos de ortorrectificación fueron las imágenes Landsat originales descargadas desde el GLOVIS, la imagen de referencia Landsat orthorectified product y el SRTM DEM v.3.

Para el método manual se colocaron 111 GCPs en la imagen original Landsat, los cuales fueron identificados en el Landsat orthorectified product, permitiendo ajustar geoméricamente la escena original a la imagen de referencia y al DEM. Se empleó la herramienta *control points* del Erdas 2013.

La ortorrectificación con Erdas IMAGINE AutoSync es el otro método que se utilizó, el cual emplea un algoritmo automático que crea miles de puntos de enlace (*tie points*) que son usados para conectar/empatar la imagen original a la imagen de referencia (Erdas 2006). Se aplicó Erdas IMAGINE AutoSync a la imagen original y a la imagen ortorrectificada manualmente. Luego de realizar un contraste entre la imagen ortorrectificada manualmente con GCPs y las escenas con Erdas IMAGINE AutoSync se observó que el método automático de *tie points* resultó ser más efectivo que el método manual.

La segunda etapa lo constituye el control de calidad de los productos satelitales pre-seleccionados (la imagen original Landsat 5 TM, la imagen original Landsat con Erdas IMAGINE AutoSync y la imagen ortorrectificada manualmente con Erdas IMAGINE AutoSync). Se colocaron 54 puntos en una malla y se midieron las distancias entre los puntos ubicados en la imagen de referencia y cada uno de los puntos de los productos satelitales mencionados anteriormente. Luego de calcular las distancias promedio, el resultado final indicaba que la distancia era menor en relación a la imagen original Landsat 5 TM. Posteriormente, se tomaron las coordenadas de los puntos de los tres productos satelitales y se ingresaron a la herramienta *georeferencing* del ArcGis 10.1, el RMS Error también resultó ser menor para la imagen original. En razón de estos resultados, se decidió utilizar las imágenes originales Landsat 5 TM y 8 OLI, dado que ninguno de los procedimientos de ortorrectificación lograron superar el nivel de corrección que tienen estas imágenes. Esto probablemente se debe a que estas imágenes emplean una mayor cantidad de GCPs lo cual no es posible lograr a través de una corrección manual por la presencia de nubosidad, la resolución espacial de la escena y problemas en la visibilidad (Ver Tabla 6)

Imagen de referencia en relación a	Distancia en metros (promedio)	RMS Error
Imagen original	43.94	66.29
Imagen original con AutoSync	44.58	67.08
Imagen ortorrectificada con AutoSync	70.56	108.4

Tabla 6: Distancia promedio en metros y RMS Error de la imagen original, de la imagen original con AutoSync y de la imagen ortorrectificada con AutoSync en relación a la imagen de referencia

3.3. Fase 3: Estudio Multi-temporal

Habiendo seleccionado el producto satelital con menor error geométrico (imágenes originales L1T Landsat 5 TM y 8 OLI), se procedió con la etapa de procesamiento. Mediante el programa ArcGis 10.1 se construyeron dos modelos a través de la herramienta *ModelBuilder*. Esto permitió organizar de forma secuencial cada una de las herramientas de geoprocésamiento que se emplearon para la identificación de lagunas y glaciares. Cabe mencionar que el uso del *ModelBuilder* agilizó la obtención de resultados al crear un mismo flujo de trabajo que se aplicó para los diferentes períodos de estudio, generando automáticamente los productos esperados.

Para la identificación de áreas lagunares se aplicó el NDWI desarrollado por Huggel et al. (2002) que consiste en el cálculo de la siguiente fórmula a través del *Raster Calculator*:

$$\frac{\text{float (NIR)} - \text{float (Blue)}}{\text{float (NIR)} + \text{float (Blue)}}$$

Las áreas glaciares se detectaron por medio del NDSI, nuevamente se aplicó la herramienta *Raster Calculator* y se ingresó la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{float (Green)} - \text{float (SWIR)}}{\text{float (Green)} + \text{float (SWIR)}}$$

Cabe resaltar que el *float* permitió convertir los valores de los píxeles de enteros a decimales entre un rango de -1 a $+1$. Luego de obtener las imágenes que resultaron de la aplicación de los índices, se procedió a definir los umbrales. Los valores de los píxeles que representan a zonas lagunares pueden variar entre un año y otro o dependiendo de la región glacial donde se localicen. Frey et al. 2010 señalan que esto se debe a que las lagunas en zonas glaciares presentan un amplio rango de turbidez producto del flujo de sedimentos hacia la laguna, la profundidad del agua y el origen del agua contenida en la laguna presentando una información espectral variada que cambia entre un azul claro o verde hasta casi un negro. Además, indican que las lagunas presentan bajos valores de NDWI que oscilan entre -0.6 y -0.85 . Para el caso de la Cordillera del Vilcabamba las lagunas presentan valores más altos de reflectividad. Si bien el valor más bajo también se ha fijado en -0.85 , el más alto se ha establecido en -0.4 para las escenas TM. En cambio, para las escenas OLI, por tener una mayor resolución radiométrica presentan valores diferentes (entre -0.13 y $+0.02$) (Ver Tabla 7).

ESCENAS LANDSAT	Fecha	NDWI
LT50040691991182CUB00	01/07/1991	-0.70 a -0.45
LT50050691991189CUB00	08/07/1991	-0.75 a -0.46
LT50040692001225CUB02	13/08/2001	-0.82 a -0.40
LT50050692001216CUB02	04/08/2001	-0.82 a -0.40
LT50040692010186CUB00	05/07/2010	-0.85 a -0.40
LT50050692010193CUB00	12/07/2010	-0.85 a -0.40
LC80040692014149LGN00	29/05/2014	-0.13 a 0.04
LC80050692014156LGN00	05/06/2014	-0.13 a 0.02

Tabla 7: Umbrales de NDWI para cada una de las escenas Landsat trabajadas.

Con respecto a las áreas glaciares, en un estudio realizado en la Cordillera Blanca, Silverio y Jaquet (2005) señalan que los valores de los píxeles de los glaciares son similares tanto en el sol como en la sombra y corresponden con valores para el NDSI superiores o iguales a $+0.4$. En

el área de estudio se estableció el valor mínimo de +0.35 tanto para las imágenes TM y OLI (Ver Tabla 8).

ESCENAS LANDSAT	Fecha	NDSI
LT50040691991182CUB00	01/07/1991	0.4 a 1
LT50050691991189CUB00	08/07/1991	0.35 a 1
LT50040692001225CUB02	13/08/2001	0.45 a 1
LT50050692001216CUB02	04/08/2001	0.46 a 1
LT50040692010186CUB00	05/07/2010	0.4 a 1
LT50050692010193CUB00	12/07/2010	0.4 a 1
LC80040692014149LGN00	29/05/2014	0.4 a 1
LC80050692014156LGN00	05/06/2014	0.35 a 1

Tabla 8: Umbrales de NDSI para cada una de las escenas Landsat trabajadas

La asignación de umbrales para identificar áreas lagunares y glaciares requirió previamente de tres elementos de apoyo: la creación de un mapa de sombras (*hillshade map*) y pendientes (*slope map*) en base al SRTM DEM v.3, para evitar confusiones entre sombras y glaciares; la composición de bandas SWIR, NIR, Blue; imágenes satelitales base disponibles en ArcGis 10.1 y Google Earth. Después de establecer los umbrales se convirtieron las áreas identificadas como lagunas y glaciares a polígonos con la herramienta *Raster to polygon*; y se cortó la extensión de la imagen en función del ADI con la herramienta *Clip*, obteniendo sólo los polígonos de lagunas y glaciares que se encuentran dentro del área de la Cordillera del Vilcabamba.

Habiendo obtenido los polígonos correspondientes a lagunas y glaciares se inició con la purificación de datos. Cuando se convirtió la imagen raster a vector se generó el campo GRIDCODE con los valores de 0 y 1. Los polígonos con un GRIDCODE=0 representan a las áreas que no corresponden con lagunas, ni glaciares y por tanto deben eliminarse para sólo conservar los polígonos con un GRIDCODE=1 que sí representa a los elementos geográficos de interés para este estudio. Para tal propósito se empleó la herramienta *Select* para sólo considerar a los *features* con un GRIDCODE de 1.

Para el caso de las lagunas, se prosiguió con la herramienta *Aggregate Polygons* con el propósito de combinar un conjunto de polígonos unidos en uno sólo, la distancia de agregación que se estableció fue de 1. Para poder reducir el número de polígonos y continuando con la limpieza semi-automática, se trabajó con las pendientes promedio de los polígonos. Para ello se elaboró un mapa de pendientes del DEM SRTM v.3 con la herramienta *Slope*, para lo cual fue necesario transformar el DEM de coordenadas geográficas a proyectadas UTM. Con la

herramienta *Feature to Points* se obtuvieron los centroides de los polígonos y con la herramienta *Extract values to points*, los centroides asumieron el valor de la pendiente. Con el *Make Feature Layer*, se seleccionaron los centroides que tenían un *Rastervalue* mayor a 20 grados. Luego se intersectó esta selección con el de los polígonos de las lagunas a través de la herramienta *Select layer by location* habiendo previamente convertido el shape de lagunas a *layer* con el *Make feature layer*. Finalmente la herramienta *Delete Features* permitió eliminar los polígonos que tenía una pendiente mayor a 20 grados (Ver Anexo 1)

Con respecto a los glaciares se agregó un campo con la herramienta *Add Field*, y con el *Calculate Field* se estimó el área de los polígonos. Luego, se creó un *Buffer* de 30 metros alrededor de cada uno de los polígonos y se calculó las distancias entre los buffers con el *Near*. Se seleccionaron todos los buffers que tenían una distancia entre sí mayor a 0 con el *Make Feature Layer*, y posteriormente se seleccionaron los polígonos de glaciares que se intersectaban con los buffers seleccionados a través del *Select Layer by Location*, antes de esto, los polígonos de los glaciares fueron convertidos a *layer* con el *Make Feature layer*. Se aplicó el *Select Layer by Attribute*, pero esta vez para deseleccionar los polígonos con áreas superiores a los 13500 m² o 15 píxeles, los polígonos restantes que quedaron seleccionados se eliminaron con el *Delete Features*. Para finalizar el modelo, se ingresó la herramienta *Aggregate Polygons* para unir los polígonos que comparten, al menos, un vértice en común (Ver Anexo 2).

Se verificaron ambos modelos y posteriormente se prosiguió con la corrección manual de los polígonos restantes. Con el *editor* se agregaron y eliminaron vectores tanto para las lagunas, como para los glaciares. Para ello, nuevamente se emplearon los elementos de apoyo mencionados anteriormente, es decir, el mapa de sombras, de pendientes, la composición de bandas SWIR, NIR, Blue; imágenes satelitales base disponibles en ArcGis 10 y el Google Earth. Además también se emplearon los shapes de lagunas y glaciares de las cartas nacionales, y la información del Inventario de lagunas de la UGRH (2012b).

3.4. Fase 4: Obtención de Parámetros

Los parámetros de área, altitud, distancia al glaciar y distancia horizontal a centros poblados se obtuvieron de la siguiente manera:

- *Área*: Se creó un nuevo campo con la herramienta *Add Field* en la tabla de atributos del *shapefile* de lagunas, y con el *Calculate Field* se obtuvo el área en metros cuadrados. Este parámetro se estimó para todos los años de estudio.

- *Altitud*: Se determinó a partir del centroide de cada laguna que previamente se obtuvo con el *Feature to point* y el SRTM DEM v.3. Se utilizó la herramienta *Add Surface Information* del *3D Analyst Tools*. La altitud también se aplicó para todos los años de estudio.
- *Distancia horizontal al glaciar*: Se ingresaron los *shapefiles* de lagunas y de glaciares a la herramienta *Near*. Este parámetro sólo se calculó para las lagunas del año 2014 con el propósito de conocer cuál es la amenaza actual que representan.
- *Distancia con centros poblados*: Se ingresaron los *shapefiles* de lagunas y de centros poblados a la herramienta *Near*. Al igual que el parámetro anterior, este también se estimó sólo para las lagunas del año 2014.

También se establecieron los períodos de aparición de las lagunas (antes de 1991, entre 1991-2001, entre 2001-2010 y entre 2010-2014). A través de este parámetro también se pudo estimar el número de lagunas nuevas que se han formado en cada período.

3.5. Fase 5: Análisis de la amenaza

Se contrastaron y analizaron los resultados con el inventario de lagunas de la UGRH realizado para la Cordillera del Vilcabamba (2012b), con la finalidad de validar los resultados obtenidos en la identificación de lagunas y sus parámetros. En este aspecto es importante aclarar que el inventario del 2012 se basó en imágenes satelitales de los años 2009 y 2010, por lo que la comparación sólo fue posible con los resultados del 2010 que se obtuvieron en el marco de esta tesis.

La información sobre áreas glaciares (importantes para determinar la distancia laguna-glaciar y conocer la correlación entre el desarrollo lagunar y glaciar) se discutió con otros estudios realizados en la Cordillera del Vilcabamba como el de Suarez et al. (2013) y UGRH (2014b).

Con el propósito de determinar la potencial amenaza de las lagunas identificadas se estableció cinco criterios y se consideraron a las lagunas que cumplieran con uno o más de estos criterios. En primer lugar, se consideró que su área se haya incrementado en más del doble (cambio relativo) y/o en más de 10000 m² (cambio absoluto) entre los años 1991-2014, que se encuentren a menos de 100 m de distancia de glaciares y a menos de 1000 m de centros poblados. Asimismo, se consideró a las lagunas nuevas que se formaron entre los años 2001-2014 y que tenían un área mínima de 10000 m².

Los dos primeros criterios y el último referido a las nuevas lagunas se establecieron con la finalidad de detectar a aquellas lagunas que han presentado un incremento acelerado de su

superficie, sean estas lagunas formadas antes de 1991 o en los últimos 13 años. La distancia máxima de 100 m de los glaciares fue definida bajo la consideración que las lagunas más próximas a los glaciares son más proclives a la formación de aluviones al estar aún en contacto con los glaciares que se encuentran en estado de retroceso. La caída de bloques de hielo, avalanchas y de rocas o detritos (que dejan las pendientes desestabilizadas por la reducción glaciario) en el interior de las lagunas es importante en el origen de los flujos aluviónicos.

Es importante señalar que las lagunas representan una amenaza cuando existen poblaciones, infraestructura o tierras agrícolas que podrían ser afectadas. En ese sentido se definió una distancia máxima de 1 km de las lagunas a los centros poblados. Posteriormente, se analizaron algunas quebradas con centros poblados próximos, ya que, la distancia no siempre es un factor determinante para identificar un centro poblado que se encuentra amenazado. El impacto se puede sentir muchos kilómetros valle abajo cuando el flujo se desplaza por el cauce de una quebrada o valle.



4. RESULTADOS

4.1. Estudio Multi-temporal de áreas lagunares y glaciares

La superficie de áreas glaciares de la Cordillera del Vilcabamba se ha reducido de 200.30 a 98.36 km² entre 1991 y 2014. Al mismo tiempo, la tasa de reducción anual se ha acelerado de 2.52% (1991-2001) a 2.54 % (2001-2010); mientras que en el período 2010-2014 la tasa anual se desaceleró a un ritmo de 1.81% (Ver tabla 9).

Año	Área glaciar (km ²)	Tasa de reducción por período (%)	Tasa de reducción anual (%)
1991	200.30	-----	-----
2001	144.69	27.76	2.52
2010	108.16	25.36	2.54
2014	98.36	9.80	1.81

Tabla 9: Superficie glaciar, tasa de reducción anual y tasa de reducción por período (1991-2014)

Por otro lado, el número de lagunas se ha incrementado en el mismo período de tiempo. Se identificaron 247 lagunas en 1991 y 329 en el 2014, lo que implica el desarrollo de 82 nuevas lagunas en 24 años. Cabe señalar que otras 3 lagunas nuevas que se habían formado en períodos anteriores (1991-2001 y 2001-2010) desaparecieron entre 2010-2014; no obstante, la desaparición se ha limitado a unas cuantas excepciones. Las dimensiones de estas lagunas variaban entre los 900 y 3600 m². Además, la formación de lagunas se ha acelerado principalmente entre los dos últimos períodos, de menos que 1.2% entre 2001-2010 a 2.8% en el período 2010-2014 (Ver Tabla 10).

La superficie total de las lagunas identificadas ha registrado un incremento de unos 4356 km² a 5445 km² en el mismo período total de estudio. La tasa de crecimiento anual no ha mostrado un cambio significativo entre los períodos 1991-2001 y 2001-2010 siendo menor que 0.9%. Sin embargo, en el período 2010-2014, la tasa de incremento anual de la superficie de agua presentó un crecimiento drástico de 2.49% (Ver Tabla 11).

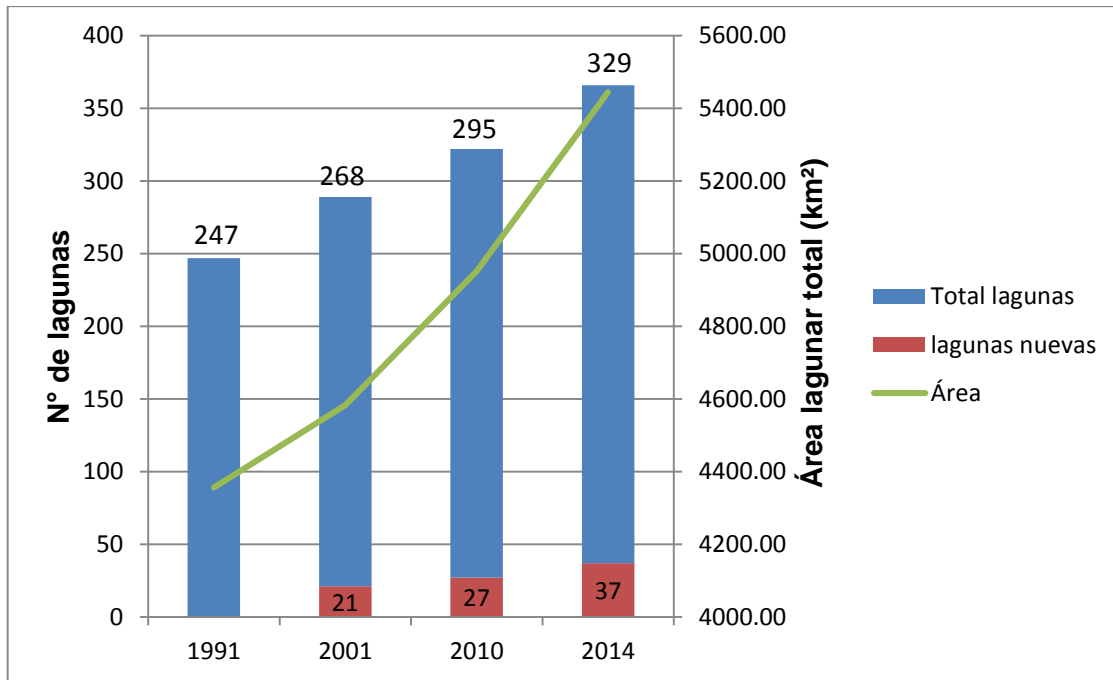


Figura 7: Gráfico comparativo entre el número de lagunas, área lagunar total y nuevas lagunas identificadas (1991-2014)

Así como se ha incrementado el número de lagunas y la cobertura superficial total de los cuerpos lagunares, la formación de nuevas lagunas también ha presentado una tendencia creciente. Entre los años 2001-2010 se formaron 27 lagunas; mientras que paralelamente, entre los años 2010-2014 (sólo 5 años) se registró la aparición de 37 lagunas nuevas. Asimismo, la tasa anual de formación de nuevas lagunas se elevó en más de un 50% en el período 2010-2014 (9.3%), en relación al período 2001-2010 (3.8%) (Ver Figura, Tabla 10 y Tabla 11).

Año	Nº lagunas	Tasa de incremento por período (%)	Tasa de incremento anual (%)	Nº lagunas nuevas	Tasa de incremento por período (%)	Tasa de incremento anual (%)
1991	247	-----	-----	0	-----	-----
2001	268	8.50	0.77	21	-----	-----
2010	295	10.07	1.01	27	28.57	3.17
2014	329	11.53	2.31	37	37.04	9.26

Tabla 10: Se presenta la variación en el número total de lagunas y de lagunas nuevas, así como, las tasas de incremento por período y anual en porcentaje

Año	Área (km ²)	Tasa de incremento por período (%)	Tasa de incremento anual (%)
1991	4356.03	-----	-----
2001	4582.85	4.82	0.48
2010	4951.90	8.05	0.89
2014	5445.09	9.96	2.49

Tabla 11: Variación del área total de lagunas, tasa de incremento por período y tasa de incremento anual

La evolución lagunar y glaciaria presentan tendencias contrarias. Mayor desarrollo en cantidad y tamaño de lagunas entre los años 1991-2014 y, al mismo tiempo, un retroceso glaciario significativo que ha implicado la pérdida de más del 50% del área glaciaria (Ver Figuras 8 y 9).

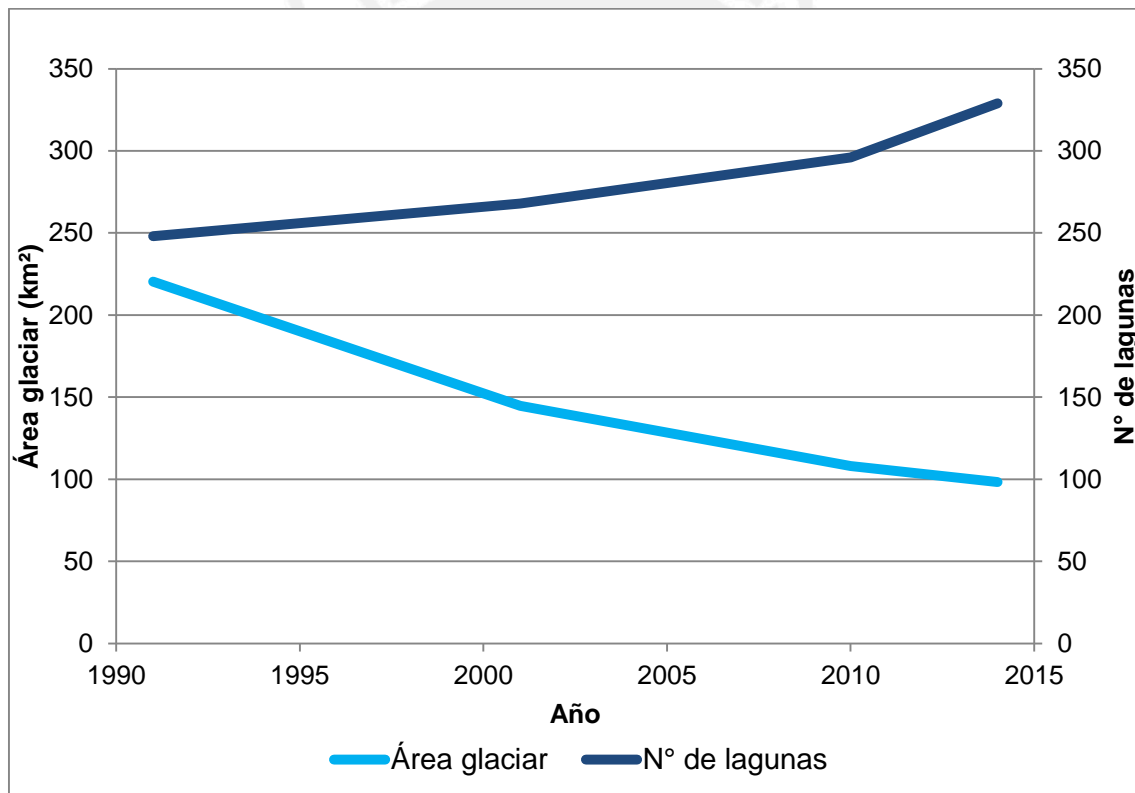


Figura 8: Reducción glaciaria y mayor formación de lagunas entre 1991-2014

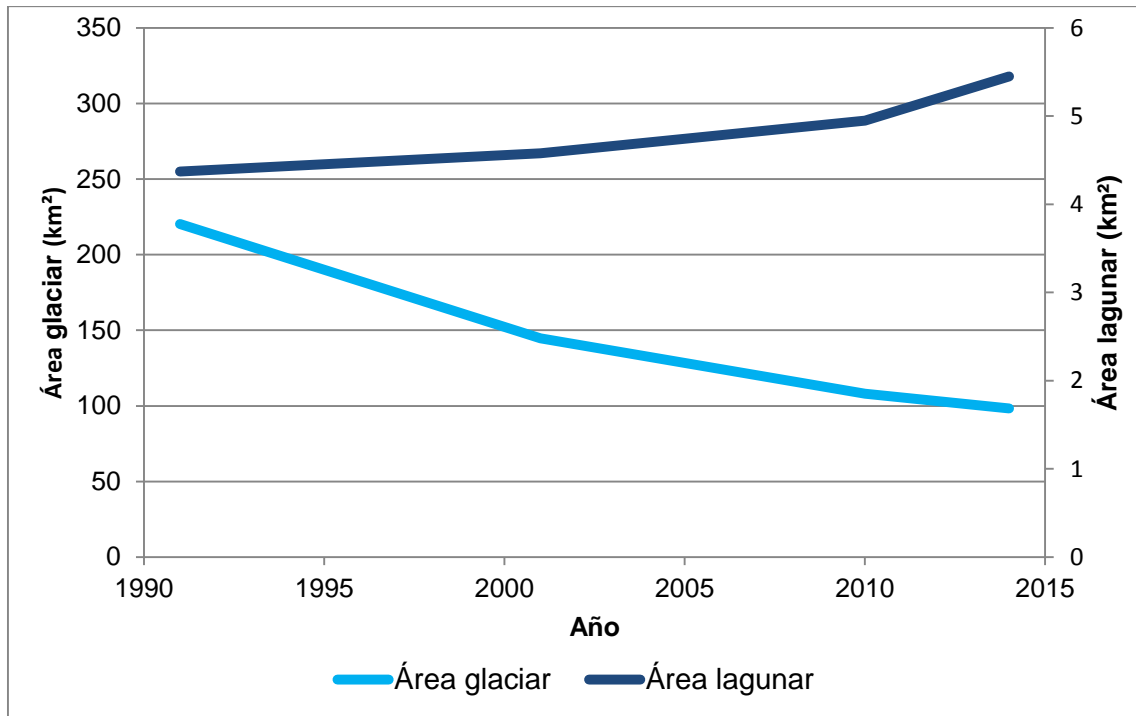


Figura 9: Reducción glaciar e incremento de la superficie total de lagunas entre 1991-2014

Al clasificar las superficies de las lagunas se observa que predominan las de menor tamaño (900-5000 m²) y a medida que los rangos de área se incrementan, se reduce la cantidad de lagunas. Esta tendencia es mucho más evidente entre los 900 hasta los 80000 m². A partir de los 80000 m² en adelante hay una mayor estabilidad entre las lagunas que se encuentran en las diferentes clases.

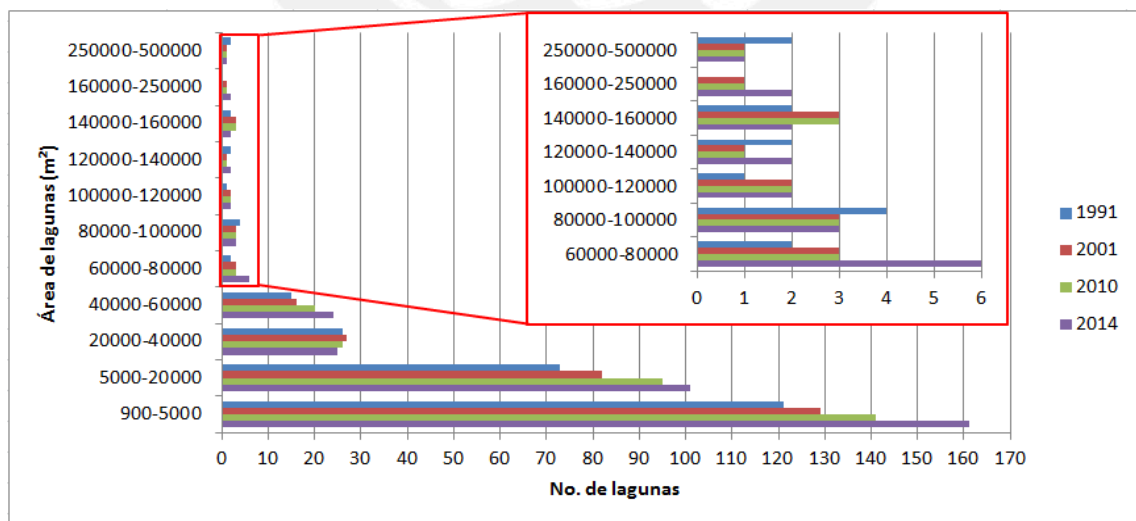


Figura 10: Clasificación de las lagunas identificadas entre 1991 y 2014 de acuerdo a su área (rango de 900 - 500000 m²)

Número de lagunas por rango de superficie (m ²)												
Año	900-5000	5000-20000	20000-40000	40000-60000	60000-80000	80000-100000	100000-120000	120000-140000	140000-160000	160000-250000	250000-500000	Total
1991	120	72	27	15	2	4	1	2	2	0	2	247
2001	129	82	27	16	3	3	2	1	3	1	1	268
2010	140	94	27	20	3	3	2	1	3	1	1	295
2014	161	101	25	24	6	3	2	2	2	2	1	329

Tabla 12: Número de lagunas distribuidas por rango de superficie (m²) entre 1991 y 2014

Asimismo, las lagunas con superficies entre los 900-80000 m² se van incrementando desde 1991 a 2014. En el año 2014 el número de lagunas de 900 a 5000 m² se incrementó de manera mucho más importante que en años anteriores (Ver Figura 10 y Tabla 12).

Las lagunas de la Cordillera del Vilcabamba se distribuyen geográficamente en tres sistemas hidrográficos. Más del 60% del número de lagunas se ubican en la cuenca hidrográfica del Urubamba, entre un 20 y 25% de las lagunas forman parte de la intercuenca del Alto Apurímac, y menos del 21% se localizan en la intercuenca del Bajo Apurímac. Las superficies que abarcan las áreas lagunares en los tres sistemas hidrográficos corresponden con el de número de lagunas. Es decir, la mayor superficie total de lagunas se encuentra en la cuenca del Urubamba (61 – 64% entre 1991 y 2014), y la menor en el Bajo Apurímac (18 – 20% entre 1991 y 2014) (Ver Tabla 13 y Figura 11).

1991					2001				
Cuenca/ Intercuenca	N° lagunas	% del total	Área (km ²)	% del total	Cuenca/ Intercuenca	N° lagunas	% del total	Área (km ²)	% del total
Urubamba	153	61.9	2782.83	63.88	Urubamba	166	61.94	2898.95	63.26
Alto Apurímac	50	20.16	680.40	15.62	Alto Apurímac	58	21.64	785.70	17.14
Bajo Apurímac	44	17.74	892.80	20.5	Bajo Apurímac	44	16.42	898.20	19.6
Total	247	100	4356.033	100	Total	268	100	4582.85	100
2010					2014				
Cuenca/ Intercuenca	N° lagunas	% del total	Área (km ²)	% del total	Cuenca /Intercuenca	N° lagunas	% del total	Área (km ²)	% del total
Urubamba	181	61.36	3078.10	62.16	Urubamba	199	60.49	3366.97	61.83
Alto Apurímac	68	22.97	927.91	18.74	Alto Apurímac	82	24.92	1059.31	19.45
Bajo Apurímac	46	15.54	945.90	19.1	Bajo Apurímac	48	14.59	1018.80	18.72
Total	295	100	4951.901	100	Total	329	100	5445.088	100

Tabla 13: Distribución de lagunas por cuenca hidrográfica (número de lagunas, porcentaje del total y área)

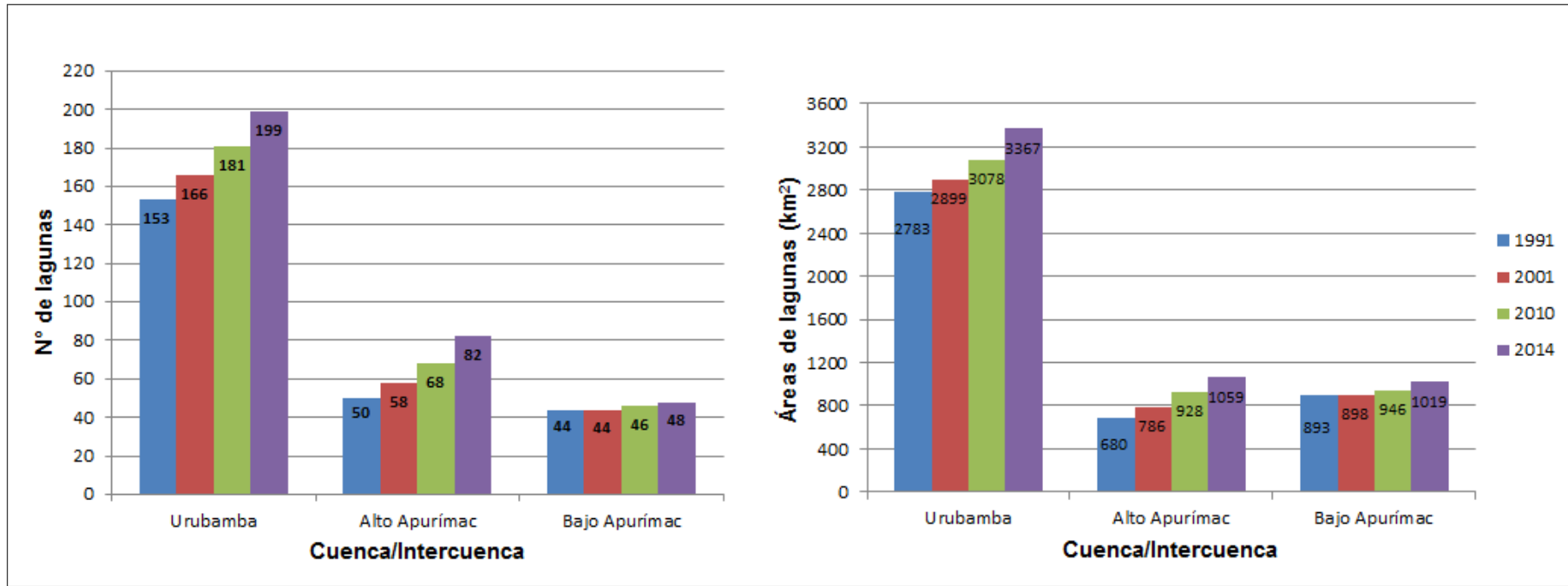


Figura 11: Número de lagunas y superficie, distribuidas por cuenca/intercuenca hidrográfica (1991-2014)

Cuenca/intercuenca	1991-2001		2001-2010		2010-2014	
	N° lagunas	Área (km²)	N° lagunas	Área (km²)	N° lagunas	Área (km²)
Urubamba	12	58.49	16	98.1	19	33.3
Alto Apurímac	9	96.29	9	136.8	16	29.7
Bajo Apurímac	0	0	2	1.8	2	1.8
Total	21	154.78	27	236.7	37	64.8

Tabla 14: Distribución por cuenca/intercuenca hidrográfica de nuevas lagunas formadas entre 1991-2001, 2001-2010 y 2010-2014

Las nuevas lagunas que se formaron en cada uno de los períodos de estudio se ubican principalmente en la cuenca del Urubamba, luego en la intercuenca del Alto Apurímac, y sólo 2 nuevas lagunas se han formado en la intercuenca del Bajo Apurímac en los períodos 2001-2010 y 2010-2014. Cabe señalar, que 3 de estas lagunas nuevas desaparecieron en el período 2010-2014, una de ellas se ubicaba en la cuenca del Urubamba y las otras 2, en el Alto Apurímac, por lo que al presente, existe un total de 82 lagunas nuevas en el área de estudio.

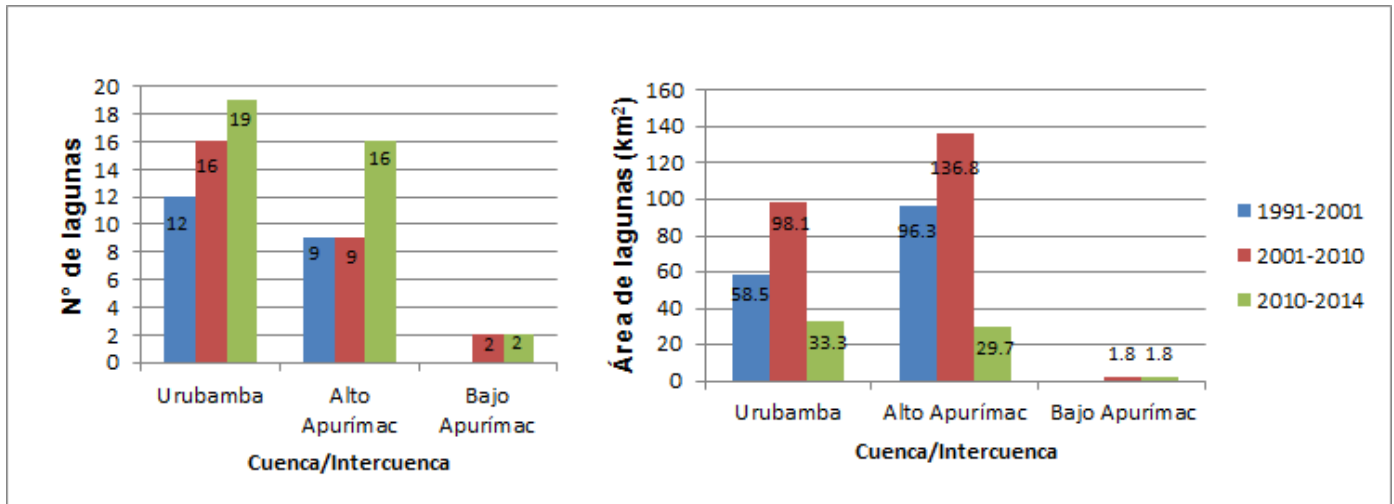


Figura 12: Lagunas nuevas y superficie total (km²) por sistema hidrográfico

El número de nuevas lagunas se ha incrementado principalmente en la cuenca del Urubamba, donde se encuentra la mayor cantidad de lagunas nuevas para cada período. En cambio, la mayor superficie se localiza en la intercuenca del Alto Apurímac a excepción del período 2010-2014, donde la mayor extensión se encuentra en la cuenca del Urubamba. Por otra parte, el área de las nuevas lagunas formadas en el período 2001-2010 fue significativamente mayor a los otros dos períodos de estudio. El área de las lagunas nuevas del período 2010-2014 registró una menor extensión superficial, incluso a pesar de que en este período se formaron el mayor número de lagunas (Ver tabla 14 y Figura 12).

4.2. Parámetros de lagunas

4.2.1. Distribución altitudinal

En todos los años de estudio el número de lagunas se incrementa a medida que se asciende altitudinalmente. La mayor cantidad de lagunas se encuentran entre los 4000 y 4500 msnm. Sin embargo, la formación de nuevas lagunas en el rango altitudinal de 4500 - 5000 msnm ha sido el más importante. De otro lado, la cantidad de lagunas que se encuentran entre el rango

de 3500-4000 msnm se ha mantenido prácticamente estable. Por debajo de los 3500 msnm sólo se ha identificado a una laguna (Ver Tabla 15).

Distribución altitudinal (msnm)	1991	2001	2010	2014
3000-3500	1	1	1	1
3500-4000	30	31	33	35
4000-4500	159	164	173	187
4500-5000	57	72	89	106
Total	247	268	295	329

Tabla 15: Distribución altitudinal de las lagunas entre 1991 - 2014

4.2.2. Distancia horizontal/lineal laguna-glaciár

La Tabla 16 y la Figura 13 muestran que el mayor número de lagunas (66.56%) se encuentra a una distancia de entre 0 y 3 km. A medida que se incrementa la distancia se reduce la cantidad de lagunas. Sólo dos lagunas se encuentran a más de 10 km de distancia lineal (menos del 1%).

Distancia (m)	N° de lagunas	%
0-1000	113	34.35
1000-3000	106	32.22
3000-6000	71	21.58
6000-10000	37	11.25
>10000	2	0.6
Total	329	100.00

Tabla 16: Distribución de lagunas de acuerdo a su distancia a los glaciares

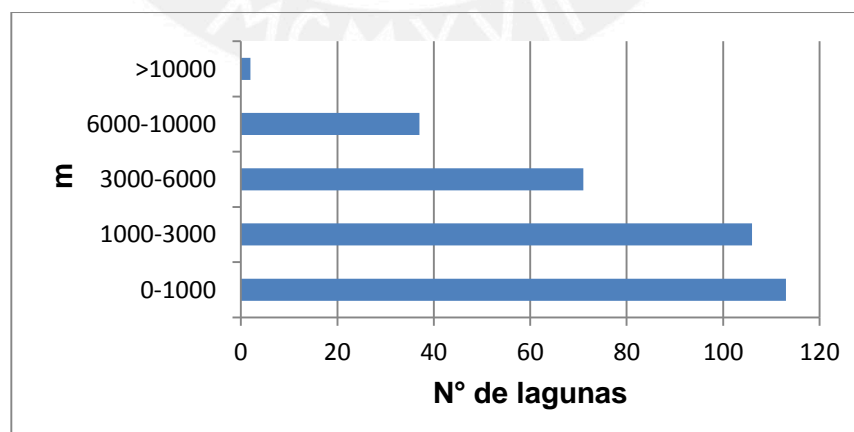


Figura 13: Distancia de las lagunas identificadas en el 2014 a los glaciares de la Cordillera del Vilcabamba

Cabe señalar que entre las lagunas de 0 a 1000 m, se encuentran ocho lagunas a una distancia inferior a los 100 m, cinco de ellas se formaron en el período 2001-2010, y las lagunas restantes entre 2010-2014. Las áreas de estas lagunas oscilan entre los 900 y 7200 m² (Ver Tabla 17).

Código	Distancia (m)	Período de formación	Área (m ²)
A106	0	2001-2010	7200
B057	0	2010-2014	3600
B058	0	2010-2014	900
A162	0	2001-2010	4535
B006	30	2010-2014	4883
B062	30	2001-2010	4719
B049	60	2001-2010	4825
B082	95	2001-2010	4707

Tabla 17: Lagunas que se encuentran a una distancia inferior a 100 m de los glaciares

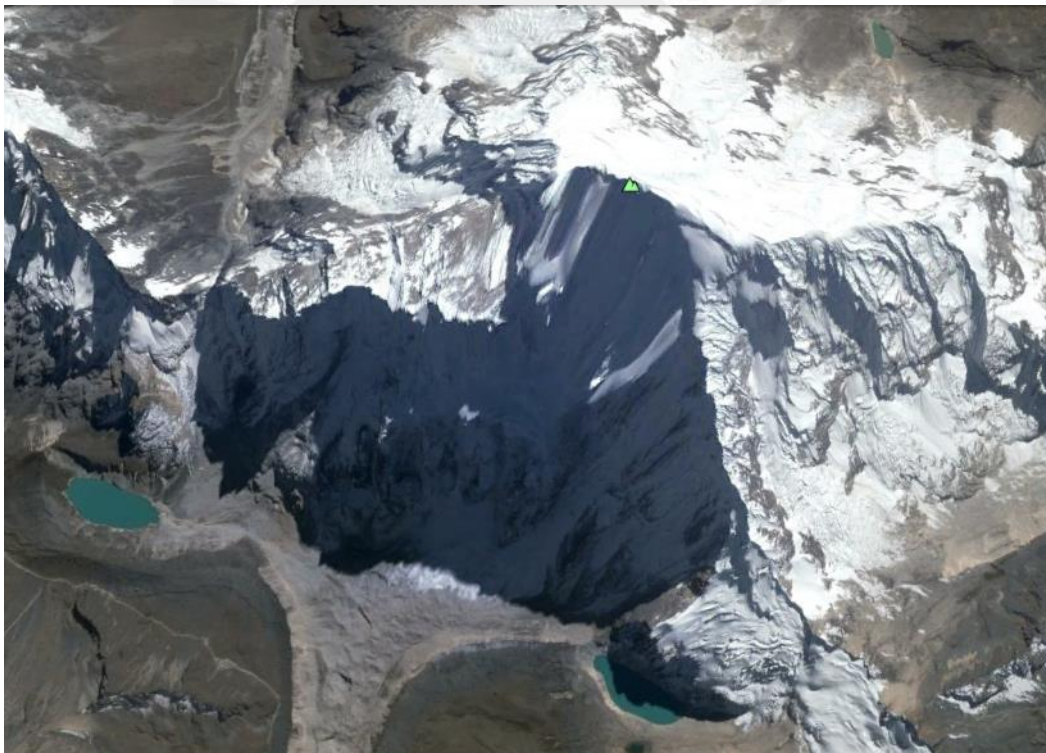


Figura 14: Se visualiza el nevado Salcantay y la laguna con código B011 a 3960 m de distancia del glaciar (a la derecha), y la laguna con código A078 a 3915 m de distancia (a la izquierda).

4.2.3. Distancia/conexión con centros poblados

Las lagunas identificadas en la Cordillera del Vilcabamba en el año 2014, se encuentran, en valores absolutos, a una distancia lineal de entre 78 y 6356 metros de los centros poblados. El centro poblado Ccollpa Grande, ubicado en el distrito de Santa Teresa es el que se ubica a una menor distancia a comparación de otros centros poblados. La laguna a la que este poblado se encuentra más próximo es la de código A020 (Ver Figura 15).

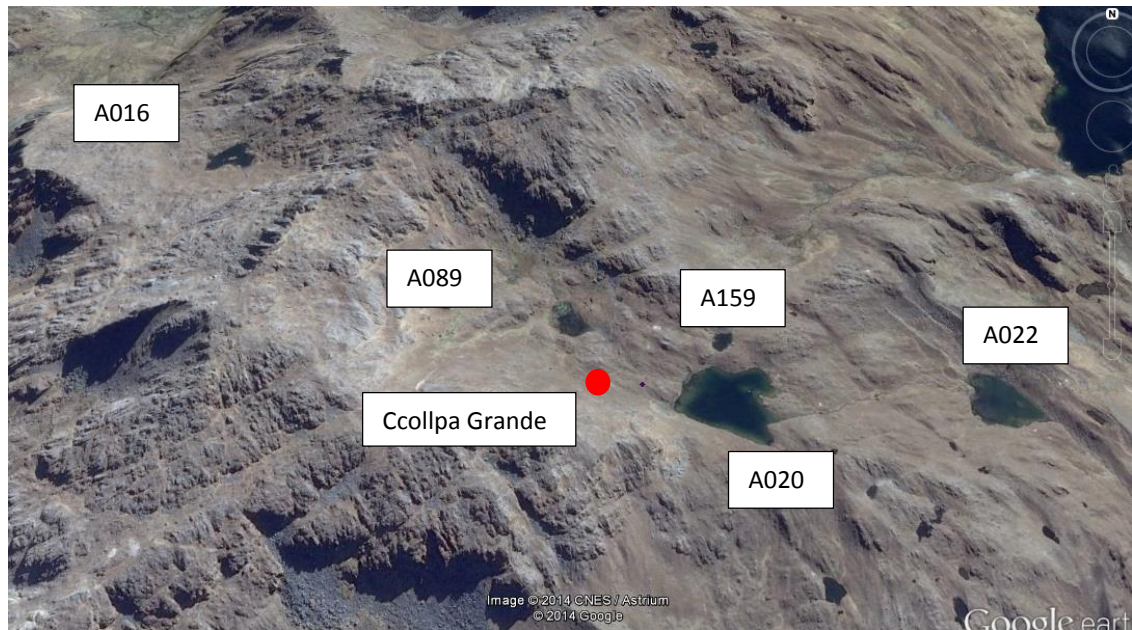


Figura 15 : Centro poblado Ccollpa Grande y las 5 lagunas cercanas. Fuente de imagen Google Earth - 13/07/2014

Como se puede observar en la Tabla 18 y la Figura 16, 38 lagunas (11.85%) se clasifican en el rango de 0 a 1000 metros de distancia de centros poblados. El 27.05% entre 1000 y 2000 metros, y el 28,88% entre los 2000 y 3000 metros de distancia. Sólo un mínimo porcentaje de lagunas (0,61%) se encuentra en el mayor rango de distancia (6000-7000 metros). Cabe señalar, que con ello no se quiere decir que absolutamente todos los centros poblados que se encuentran en los alrededores de la Cordillera están localizados a un máximo de 6 a 7 km de distancia de las lagunas. Sino que, todas las lagunas inventariadas se encuentran por lo menos a esa distancia de un centro poblado, es decir, sólo se ha realizado el cálculo en función del centro poblado más cercano a cada laguna.

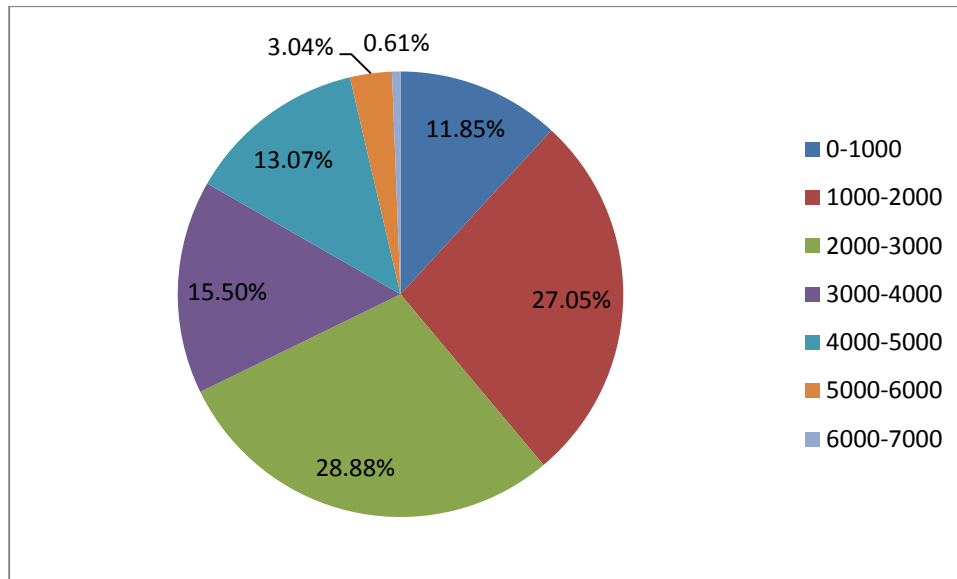


Figura 16: Porcentaje de lagunas más próximas a centros poblados, distribuidas por clases (clases expresadas en metros)

Distancia (m)	N° lagunas	%
0-1000	39	11.85%
1000-2000	89	27.05%
2000-3000	95	28.88%
3000-4000	51	15.50%
4000-5000	43	13.07%
5000-6000	10	3.65%
6000-7000	2	0.61%
Total	329	100%

Tabla 18: Número de lagunas y porcentaje que representan en función de su distancia de centros poblados

En la Tabla 19 se muestra un listado de los 25 centros poblados que se encuentran en el rango de 0-1000 metros de distancia de lagunas, de las cuales, también se indica específicamente su código.

Código Laguna	Departamento	Provincia	Distrito	Centro Poblado	Distancia (m)
A020	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Ccollpa Grande	78.21
B019	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Chanambamba	106.32
A189	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Tambo Huayco	126.22
A089	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Ccollpa Grande	154.08
A159	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Ccollpa Grande	162.60
B017	Apurímac	Abancay	Tamburco	Tuturpampa	187.74
B036	Apurímac	Abancay	Tamburco	Sahuanay	260.66
A025	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Laccococha	281.93
A167	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Lluscamayo Grande	446.20
A077	Cusco	Anta	Huarocondo	Pocpoc	453.01
A051	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Ccuychi	471.42
A194	Cusco	Urubamba	Ollantaytambo	Jacas	520.55
B035	Apurímac	Abancay	Tamburco	Moyourco	533.55
A004	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Mesada Alta	540.97
A195	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Laccococha	553.17
B022	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Occa Lluyoc	584.65
A109	Cusco	Urubamba	Ollantaytambo	Puerto Huyanay	588.80
A069	Cusco	La Convención	Santa Teresa	San Ignacio	597.40
A090	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Machachuar	600.97
A143	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Pacupallana	605.73
A022	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Ccollpa Grande	618.21
B072	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Chalan	627.05
A144	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Corralpata	654.03
A023	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Laccococha	702.45
A188	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Marcapata	715.97
A027	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Laccococha	745.16
A110	Cusco	Anta	Huarocondo	Acascocha	750.15
B023	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Occa Lluyoc	775.61
A124	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Sacsara	804.15
A072	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Lluscamayo Grande	824.92
A036	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Toccorhuay Baja	825.70
A184	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Marcapata	878.53
B033	Apurímac	Abancay	Tamburco	Totorapampa	891.35
A016	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Ccollpa Grande	931.27
A117	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Mesada Alta	931.51
B068	Cusco	La Convención	Vilcabamba	Keshuhuarhuayco	971.44
A035	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Marcapata	986.37
B082	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Chalan	989.69
B061	Cusco	La Convención	Santa Teresa	Hornopampa	993.31

Tabla 19: Centros poblados más próximos a lagunas (0-1000 m), en orden de menor a mayor distancia.

Tal como se puede observar en esta tabla, los centros poblados Ccollpa Grande, Laccocochoa, Lluscamayo Grande, Marcapata y Occa Lluyoc se localizan a menos de 1 km de distancia lineal de más de una laguna. Los cuatro primeros se encuentran en el distrito de Santa Teresa y Occa Lluyoc en Vilcabamba. De manera general, en el distrito de Santa Teresa se ubican el mayor número de centros poblados que se encuentran a una corta distancia de las lagunas de la Cordillera, seguido por Vilcabamba, ambos ubicados en la Provincia de La Convención, Cusco.

Los valles y quebradas que se encuentran debajo de los glaciares funcionan como medios conectores entre estos, las lagunas y los centros poblados. Existen centros poblados ubicados en los fondos del valle y en las planicies donde los valles desembocan (abanicos fluviales). En la Figura 17 se observa la laguna Huamantay (B013) entre las morrenas laterales, y valle abajo (Río Blanco) los centros poblados de Río Blanco, Sauceda y Ahuaccata en Limatambo, Anta se encuentran próximos a su cauce.

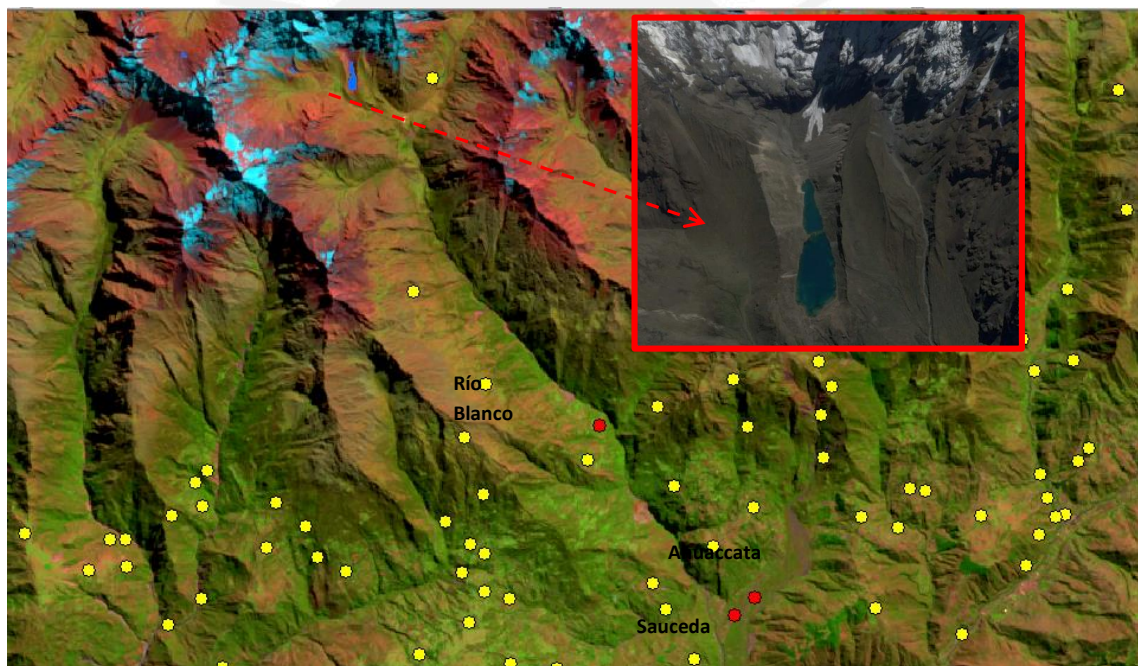


Figura 17: Laguna Huamantay y valle abajo los centros poblados Río Blanco, Sauceda y Ahuaccata. Fuente de imagen satelital Google Earth – 05/06/2014

El centro poblado Lluscamayo chico se encuentra pendiente debajo de la laguna B062 en Santa Teresa (Ver Figura 21). Por tanto son el total 29 centros poblados que se encuentran próximos o conectados a las lagunas a través de las quebradas.

5. DISCUSIÓN

5.1. Evaluación de la amenaza

5.1.1. Evolución de lagunas y su conexión con el desarrollo glaciar

Las áreas glaciares se han reducido en 102 km² entre 1991 y 2014, prácticamente a la mitad de su extensión en el año 1991 (200.3 km²). Esta tendencia reduccionista concuerda con los datos globales y los estudios realizados en los Andes tropicales (Rabatel et al. 2013, Vuille et al. 2008a, Salzmann et al. 2013, Hanshaw y Bookhagen 2014)

El estudio de Suarez et al. (2013) que se realizó para los años 1991, 1996, 2004 y 2011 concluye que la masa glaciar se ha reducido de 220.3 a 129.4 km². Las áreas glaciares que se han obtenido en el marco de la tesis son en promedio menores a lo obtenido por Suarez et al. (2013) y al inventario realizado por la UGRH (2014). Esto se debe posiblemente, entre otros, a los criterios asumidos para la clasificación de las áreas glaciares, las condiciones atmosféricas de las imágenes, y confusiones en la clasificación con sombras (Ver tabla 20).

Año	Resultados (km ²)	Suarez et al. 2013 (km ²)	UGRH 2014b (km ²)
1991	200.3	220.3	-----
1996	-----	183.8	-----
2001	144.69	-----	-----
2004	-----	145.2	-----
2009	-----	-----	129.15
2010	108.16	-----	-----
2011	-----	129.4	-----
2014	98.36	-----	-----

Tabla 20: Comparación entre los resultados obtenidos para la superficie glaciar con el estudio de Suarez et al. 2013 y UGRH (2014)

Con respecto a las lagunas, el incremento en las tasas de formación, superficie total y aparición de nuevas lagunas entre los años de estudio, indica un mayor desarrollo de lagunas e incremento de su superficie. Al comparar los resultados del año 2010 con respecto al inventario de lagunas (UGRH 2012b), que tuvo como año base el 2009, la cantidad de lagunas (284) identificadas por la UGRH no difiere significativamente de lo obtenido en los resultados (295 lagunas). Además, se detectaron 155 lagunas con superficies superiores a los 5000 m², mientras que el inventario menciona 162. Las superficies totales identificadas (4951 km²) concuerdan en mayor medida con las obtenidas por el inventario de la UGRH (5037 km²). Nuevamente, cabe señalar, que aspectos como la mayor resolución espacial de las

imágenes Aster (15 m) empleadas para la elaboración del inventario, la presencia de sombras y nubosidad intervienen en la variación de los resultados.

De las 82 nuevas lagunas formadas entre 1991 y 2014, la laguna de mayor extensión tiene 98100 m² que se encuentra en la intercuenca del Alto Apurímac (B062). Esta laguna en el 2010 tenía una extensión de 46800 m² y para el 2014 alcanzó los 98100 m², incrementándose en más del doble en 5 años. (Ver Figura 18)

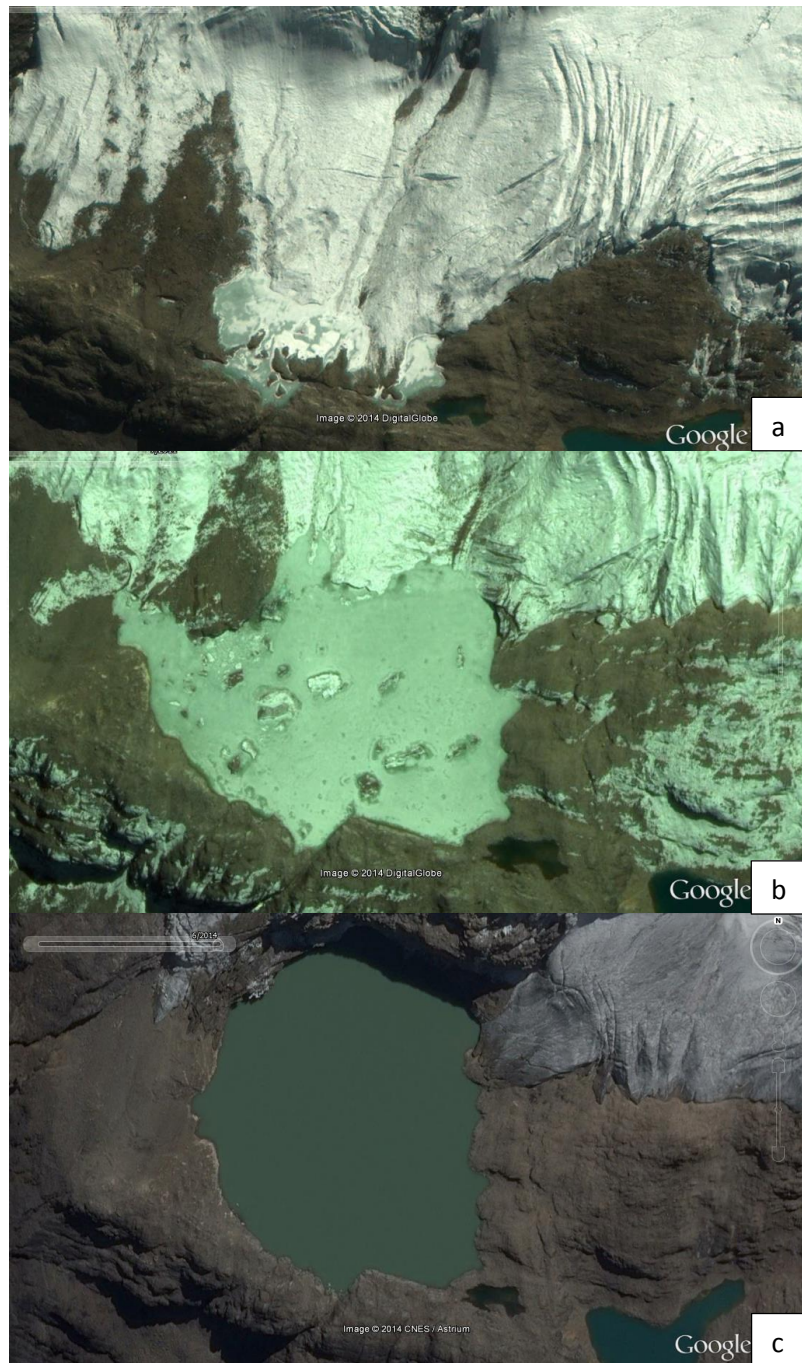


Figura 18: Vista de la laguna B062 del a) 30/07/2007, b) 28/07/2011 y c) 17/06/2014. Fuente Google Earth.

En la Figura 19, se observa que existe una alta correlación ($R^2 = 0.8$) entre el área glaciar y el número de lagunas, básicamente a mayor derretimiento glaciar, mayor formación de lagunas. Sin embargo no se puede establecer un determinismo entre el retroceso y la cada vez mayor formación y crecimiento de lagunas. El número de observaciones es muy pequeño para afirmar que existe una regresión lineal. Para ello se necesitaría realizar mediciones para más años y así determinar con mayor certidumbre si se tiene una buena correlación entre ambas variables. Sin embargo, se puede decir que el retroceso glaciar es un elemento importante y definitivamente tiene un rol significativo en la formación e incremento de la superficie de las lagunas de la Cordillera del Vilcabamba. La formación de lagunas a mayores altitudes, que a la vez corresponde con la confinación de los glaciares a los picos más elevados es un indicador de la importante conexión que existe entre ambos elementos geográficos.

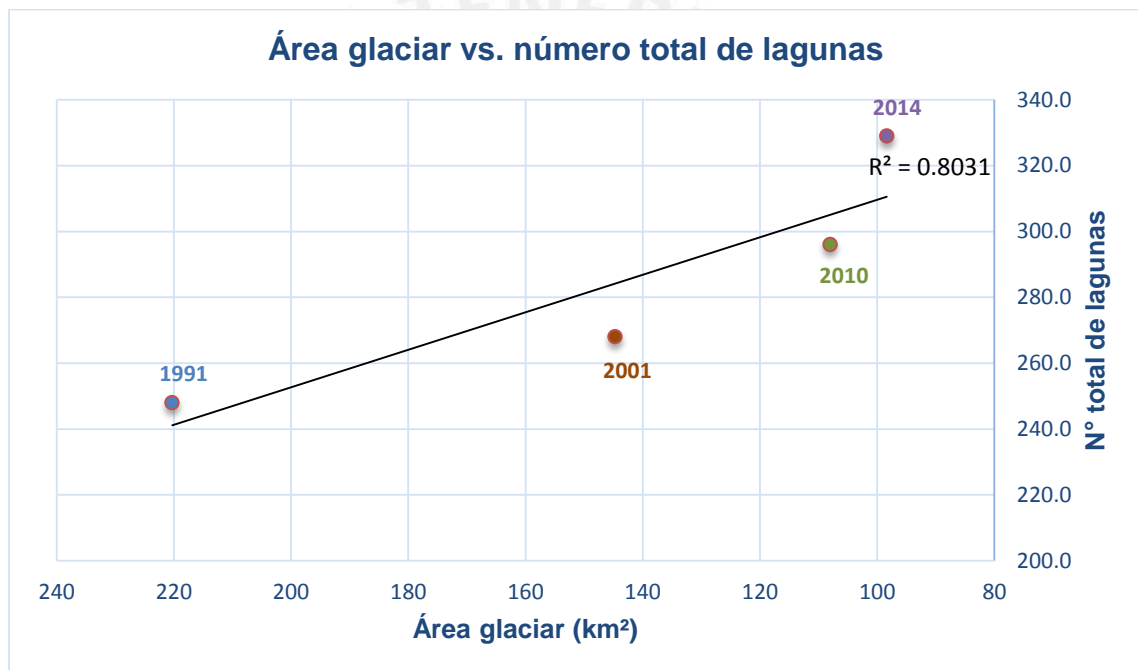


Figura 19: Correlación (R^2) entre el desarrollo glaciar y la formación de lagunas

Además hay una tendencia hacia una menor disminución del área glaciar, pero un incremento en la tasa de desarrollo de lagunas con el tiempo. La Figura 20 muestra que a pesar de que la tasa de derretimiento glaciar ha disminuido entre 1991-2014, la tasa de número de lagunas aumenta. Ante este escenario se puede plantear la siguiente explicación:

Los glaciares que han retrocedido significativamente dejan un relieve accidentado y nuevo material morrénico que podría facilitar el desarrollo de nuevas lagunas en estas depresiones y embalses naturales (a pesar de la menor agua disponible por la menor fusión del glaciar ahora más pequeño). De otro lado, las nuevas lagunas crecen más rápidamente al comienzo

antes de llegar a un umbral desde donde crecen más lentamente (limitadas por la topografía). Actualmente, la mayoría de las lagunas que se desarrollaron, todavía se encuentran posiblemente en la fase de crecimiento. Tal como se observa en la Figura 10, las nuevas lagunas pequeñas son las que más crecen en número.

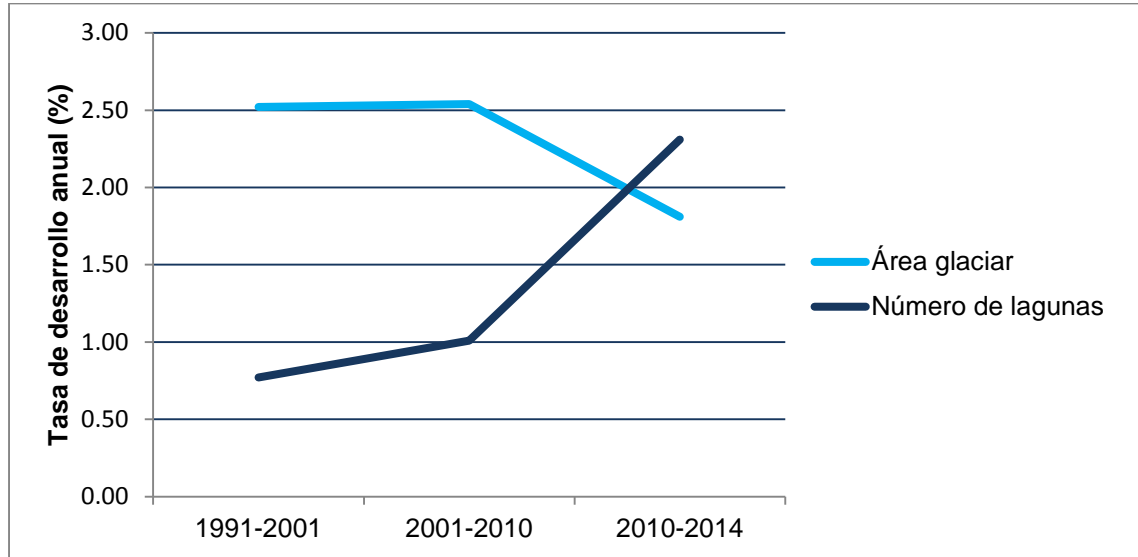


Figura 20: Aceleración de la tasa de formación de lagunas y desaceleración de la tasa de derretimiento glaciar entre 1991-2014

5.1.2. Análisis de parámetros

Un total de 90 lagunas cumplieron con uno o más de estos criterios establecidos para identificar la potencial amenaza de lagunas.

El 63.3% de estas lagunas (57) se localizan en la Cuenca del Urubamba, el 30% (27) en la intercuenca del Alto Aurímac y el 6.7% (6) en la intercuenca del Bajo Apurímac. Además, en su mayoría se encuentran en los distritos de Santa Teresa y Vilcabamba (Ver tabla 22).

El 86.7% de estas lagunas (78) sólo coinciden con uno de los criterios, el 12.2% (11) con 2 criterios y sólo el 1% (1) cumple con 3 de los criterios especificados en la Tabla 21.

Lagunas con potencial amenaza (2014)	
Criterios	N° de lagunas
Cambio relativo (> +100%)	46
Cambio absoluto (> +10000 m2)	11
Distancia a CP (<1000m)	34
Distancia a glaciares (<100m)	8
Nuevas lagunas (> 10000)	4

Tabla 21: Número de lagunas que cumplen con cada criterio de estimación de potencial amenaza.

Listado de lagunas con potencial amenaza								
Código	Distrito	Este	Norte	Altitud	Area (2014)	Distancia a glaciares	Distancia a CP	N° criterios que cumple
A002	Santa Teresa	750280	8548433	3884	156600	9741	2082.58	1
A003	Santa Teresa	739040	8548220	4128	2700	5868	2730.09	1
A004	Santa Teresa	744980	8547463	4069	163800	5495	540.97	2
A006	Santa Teresa	748350	8547070	4097	6300	7602	1247.23	1
A009	Santa Teresa	746588	8546090	4114	41400	5540	2104.51	1
A013	Santa Teresa	744738	8545514	4244	371700	3503	1202.66	1
A015	Vilcabamba	736283	8544804	3974	11700	3895	1909.52	1
A016	Santa Teresa	742584	8545012	4396	4500	2730	931.27	2
A017	Vilcabamba	737155	8545125	4103	5400	3986	1634.39	1
A022	Santa Teresa	744074	8544465	4298	9900	2738	618.21	1
A023	Santa Teresa	741750	8543755	4422	1800	1283	702.45	1
A024	Santa Teresa	740730	8543725	4424	1800	1140	1684.57	1
A025	Santa Teresa	742700	8543580	4433	2700	1396	281.93	2
A027	Santa Teresa	741675	8543200	4528	1800	735	745.16	2
A035	Santa Teresa	748394	8539329	4055	57600	5733	986.37	1
A036	Santa Teresa	750140	8539388	3701	71100	6483	825.70	1
A042	Vilcabamba	737952	8541608	4286	15300	523.93	4733.21	1
A049	Santa Teresa	747033	8537204	4128	51300	3371	2509.77	1
A051	Santa Teresa	743313	8536393	4218	43200	2617	471.42	1
A061	Santa Teresa	746610	8534605	4472	1800	900	2941.45	1
A066	Santa Teresa	742065	8533255	4342	3600	1195	3913.67	1
A069	Santa Teresa	751967	8532496	4050	18900	3719	597.40	1
A072	Santa Teresa	750924	8530408	4214	4500	2836	824.92	1
A075	Ollantaytambo	793935	8527615	4521	1800	8062	1459.95	1
A077	Huarocondo	785498	8524742	4203	45900	1253	453.01	2
A085	Vilcabamba	711937	8542424	4578	7200	1026	3916.14	1
A089	Santa Teresa	743280	8544595	4390	1800	2524	154.08	2
A090	Vilcabamba	724500	8543320	4284	900	6124	600.97	1
A094	Santa Teresa	759870	8523745	4321	1800	1003	2955.55	1
A099	Santa Teresa	761895	8524540	4333	1800	830	5057.01	1
A102	Machupicchu	772920	8530315	4594	1800	1777	1917.03	1
A103	Ollantaytambo	783180	8522125	4705	1800	1537	1350.21	1
A106	Ollantaytambo	782574	8528923	18900	18900	0	2990.1880	2
A109	Huarocondo	783972	8523988	4550	4500	691	588.80	1
A110	Huarocondo	785265	8528140	4620	45033	424	750.15	1
A115	Santa Teresa	749985	8546875	3962	3600	8815	1199.47	1
A117	Santa Teresa	746100	8547340	4234	900	6292	931.51	1
A120	Santa Teresa	739065	8550745	3996	3600	8313	4610.56	1
A121	Santa Teresa	737775	8551840	3649	1800	9707	4163.20	1
A124	Santa Teresa	744004	8542536	4386	7200	1507	804.15	2
A136	Santa Teresa	740685	8545390	4414	1800	2820	2565.34	1
A143	Vilcabamba	736245	8546275	4181	3600	5381	605.73	1
A144	Vilcabamba	731300	8546300	4165	2700	5346	654.03	2
A145	Vilcabamba	727335	8544025	3926	7200	5635	1176.03	1
A148	Vilcabamba	725570	8541120	4137	2700	4391	2690.08	1
A151	Vilcabamba	726630	8537215	4602	1800	576	4766.36	1

A158	Vilcabamba	732055	8544745	4178	63900	3601	2146.13	1
A162	Santa Teresa	741049	8539160	4535	45000	0	3231.79	2
A167	Santa Teresa	750330	8531515	4562	1800	2040	446.20	1
A172	Machupicchu	772665	8530375	4619	3600	1533	2153.52	1
A179	Santa Teresa	747590	8546420	4039	2700	6603	1931.57	1
A183	Santa Teresa	748110	8535790	4271	2700	2488	3822.12	1
A184	Santa Teresa	748245	8539645	4021	1800	6134	878.53	1
A186	Machupicchu	774795	8531110	4097	1800	3755	1631.49	1
A188	Santa Teresa	746850	8539330	4033	900	5120	715.97	1
A194	Ollantaytambo	782610	8532520	3738	900	3274	520.55	1
A195	Santa Teresa	742215	8542877	4472	3600	603	553.17	1
B001	Vilcabamba	725145	8536150	4585	3600	1087	5618.88	1
B004	Santa Teresa	726100	8532920	4581	2700	1179	2700.32	1
B006	Santa Teresa	737235	8531005	4883	3600	30	5150.24	1
B008	Santa Teresa	738937	8528470	4761	3600	564	2699.23	1
B009	Santa Teresa	741585	8526145	4570	3600	2460	1075.60	1
B013	Mollepata	761581	8519675	4268	53112	698	1718.12	1
B022	Vilcabamba	709655	8534510	4089	5400	1302	584.65	1
B023	Vilcabamba	709445	8534525	4103	9900	1260	775.61	1
B029	Vilcabamba	704490	8523715	4279	7200	5768	1902.63	1
B030	Vilcabamba	723495	8535220	4538	1800	1744	4797.75	1
B032	Huanipaca	723285	8512015	4239	3600	11253	2062.04	1
B033	Tamburco	729210	8500930	4462	900	3469	891.35	1
B035	Tamburco	725430	8499910	4682	6300	437	533.55	1
B036	Tamburco	729280	8496230	3313	2700	5444	260.66	1
B043	Vilcabamba	707325	8528575	4624	3600	524	3798.96	1
B049	Santa Teresa	739320	8523820	4825	8100	60	1206.49	1
B056	Vilcabamba	725160	8535745	4594	1800	902	5308.69	1
B057	Vilcabamba	725535	8534920	4845	3600	0	4434.10	1
B058	Vilcabamba	725790	8534890	4913	900	0	4259.26	1
B061	Santa Teresa	735588	8527003	4378	9000	999	993.31	1
B062	Santa Teresa	737404	8527399	4719	98100	30	1768.89	3
B065	Limatambo	766460	8519580	4564	2700	684	3052.80	1
B067	Santa Teresa	738017	8523532	4734	20700	153	1315.70	2
B068	Vilcabamba	712860	8537553	4517	3600	805	971.44	1
B071	Limatambo	769780	8519910	4857	2700	2340	6033.17	1
B072	Santa Teresa	735777	8521696	4573	9002	272	627.05	1
B082	Santa Teresa	735270	8521750	4707	900	95	989.69	1
C003	Vilcabamba	708615	8546298	4622	7200	5948	1988.08	1
C004	Vilcabamba	702441	8545384	3677	9000	7455	3920.08	1
C016	Vilcabamba	696310	8537620	4009	57600	1049.81	2066.52	1
C018	Vilcabamba	701430	8537170	4298	6300	1771	4703.71	1
C020	Vilcabamba	701040	8537148	4201	114302	1987	4131.73	1
C040	Vilcabamba	694050	8534845	4133	1800	2224	2727.63	1

Tabla 22: Listado de lagunas que cumplen con por lo menos uno de los 5 criterios usados para estimar la potencial amenaza

La laguna B062 cumple con la mayoría de los criterios al ser una nueva laguna formada en el período 2001-2010, por haber incrementado su superficie en más del 100% entre los años 2001-2014 y por encontrarse a menos de 30 m de un glaciar, lo que indica que esta laguna podría seguir creciendo en los próximos años, y que además representa una amenaza por estar expuesta a la caída de hielo y rocas ya desestabilizadas por el retroceso glaciar. Además, esta laguna se encuentra próxima (a menos de 160m de distancia lineal) de la laguna B063, que si bien ha mantenido una superficie estable (9900 m²) desde su formación en el período 1991-2001, el crecimiento acelerado de la laguna B062 podría juntar a ambas lagunas o aproximarlas aún más. Es importante señalar que la caída de una masa de hielo o rocas de considerables dimensiones podría generar una ola que alcance también a la otra laguna generando un encadenamiento de diferentes eventos que podrían generar un desastre. El centro poblado Lluscamayo Chico (distrito de Santa Teresa) que se encuentra en el fondo del valle del río Yanama podría verse afectado (Ver Figura 21).

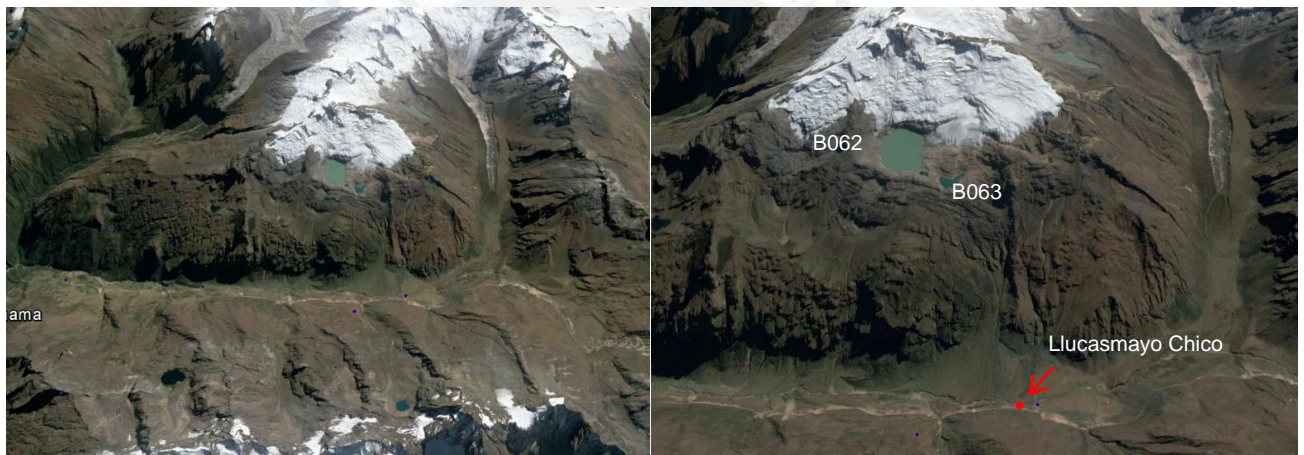


Figura 21: Lagunas B062 y B063, y centro poblado Lluscamayo Chico pendiente abajo

5.2. Consideraciones generales

En el estudio se ha determinado que entre 1991 y 2014 la superficie glaciar de la Cordillera del Vilcabamba se ha reducido de manera importante de 200.3 km² a 98.4 km² (más del 50%), aunque hubo una desaceleración en el retroceso glaciar en el período 2010-2014. Esta tendencia concuerda con los cambios observados en los glaciares de todas partes del mundo, y a nivel local en los Andes tropicales (UGRH 2014b, Haeberli et al. 2013, Salzmann et al. 2013, Vuille et al. 2008a, Vuille et al. 2008b, Silverio y Jaquet 2005). Los estudios realizados en los Andes Tropicales indican que el incremento de la temperatura (0.15°C por década) es la principal causa de este retroceso glaciar, aunque también señalan que el incremento en la humedad así como la mayor ocurrencia de los eventos El Niño en las últimas décadas, tales

como de los años 1982/83 y 1997/98, también han sido factores influyentes (Rabatel et al. 2013, Vuille et al. 2003). Aunque no existen estudios que comprueben el alcance del impacto de estas variables en los glaciares de la Cordillera del Vilcabamba; así como el efecto que podrían estar teniendo las precipitaciones y la cobertura de nubosidad.

De otro lado, la formación de lagunas se ha acelerado en el período total del estudio de 0.8%-2.3% (incremento de 247 a 329 lagunas), incluso a pesar de que la tasa de reducción glaciaria ha disminuido de 2.5%-1.8%. Esta aparente contradicción se puede explicar por la topografía expuesta que genera el retroceso glaciario (morrenas y depresiones) posibilitando la formación de nuevas lagunas, incluso a pesar de la menor fusión glaciaria originada por glaciares significativamente más pequeños que brindan un menor aporte hídrico para las lagunas. Además, el mayor número de lagunas pequeñas (900-5000 m²), indican que estas puedan encontrarse recién en una fase de desarrollo, creciendo aceleradamente en un primer momento hasta llegar a un umbral a partir del cual el crecimiento será lento. Estas son posibles explicaciones a la aceleración en la formación de lagunas y desaceleración en la reducción glaciaria; sin embargo estos resultados deberían corroborarse en futuros trabajos.

No sólo el número de lagunas sino también la superficie total de las mismas se ha incrementado entre los años 1991-2014 a una tasa cada vez más acelerada (0.48%-2.49%) lo que indica una mayor formación y desarrollo de lagunas. Paralelamente, la superficie glaciaria se ha reducido en alrededor del 50% en el mismo período de estudio. El nivel de correlación entre ambos procesos es alto (Ver Figura 19), lo que indica que el retroceso glaciario es un factor importante en el desarrollo de las nuevas lagunas, lo cual también se puede observar en las variaciones en la distribución altitudinal de lagunas (desarrollo de más lagunas en altitudes cada vez más elevadas). Sin embargo, se requiere de mediciones en un horizonte temporal más largo para establecer una correlación entre ambas variables con un mayor nivel de confiabilidad. Además, otros factores como la topografía, la geología y los flujos de agua también influyen en la formación de lagunas en alta montaña, no sólo el retroceso glaciario.

Por otra parte, se han podido identificar 90 lagunas, que de acuerdo a los criterios establecidos en la Tabla 21, pueden representar una posible amenaza. Cabe resaltar que la ubicación de centros poblados próximos al cauce y en el abanico fluvial, también es un factor influyente para la identificación de centros poblados expuestos, tal es el caso de los centros poblados de Río Blanco, Ahuaccata, Saucedá y Lucasmayo Chico que se encuentran en el interior del valle o quebrada (Ver Figura 17 y Figura 21). Estos centros poblados no necesariamente se encuentran próximos (distancia lineal próxima) a las lagunas; sin embargo, su nivel de exposición es alto ante un gran evento de remoción de masa, como lo

sucedido en el centro poblado de Santa Teresa el 13 de enero y el 27 de febrero de 1998. Existen otros 25 centros poblados expuestos que se encuentran a menos de 1 km de distancia de una laguna, 5 de estos centros poblados (Ccollpa Grande, Laccococha, Lluscamayo Grande, Marcapata, Mesada Alta y Occa Lluyoc) se encuentran próximas a más de 1 laguna. Sólo los distritos de Abancay y Macchupicchu se encuentran por encima del IDH peruano; mientras que, los otros distritos donde se encuentran los centros poblados más expuestos como Santa Teresa y Vilcabamba se encuentran muy por debajo con ingresos familiares ínfimos, lo cual los hace más vulnerables. Evidentemente realizar estudios futuros en este sentido es de vital importancia.

Asimismo, representa un interés particular la laguna B062 formada en el período 2001-2010, por su crecimiento acelerado, sus dimensiones considerables, estar próxima a otra laguna, a menos de 50m de un glaciar y porque pendiente abajo se encuentra el centro poblado Lluscamayo Chico (Ver Figura 18 y Figura 21).

La aplicación de los métodos de sensoramiento remoto y SIG demostraron ser bastante efectivos para la delimitación de áreas lagunares y glaciares, y para realizar una aproximación a la potencial amenaza en base a los parámetros que se pueden derivar directamente a partir del análisis de la información cartográfica (área, altitud, distancia, período de aparición).

En cuanto a la delimitación de las áreas lagunares y glaciares se encontró una mayor diferencia en cuanto a la estimación de las superficies glaciares en comparación con el estudio de Suarez et al. (2013); mientras que, el inventario de lagunas con año base 2009 (UGRH 2014a) presentó valores bastante próximos a los que se obtuvieron para superficie total y número de lagunas. Dado que estos estudios también se basan en el análisis de imágenes satelitales, factores como la resolución espacial de las mismas, presencia de sombras, nubosidad (condiciones atmosféricas) y el criterio personal para la discriminación de áreas glaciares y lagunares son factores que influyen en la variación de los resultados.

Este estudio además brinda una aproximación hacia la posible amenaza que representan las lagunas. Sería importante que en otros estudios donde se disponga de imágenes con mayor resolución espacial se evalúen otros parámetros como el tipo de dique, tipo de laguna y el borde libre (distancia entre el espejo de agua y la cresta del dique). Aplicar trabajos en campo con mediciones y una clasificación supervisada mejoraría la calidad de los resultados. Sin embargo, como se mencionó en un principio, la inaccesibilidad de las zonas montañosas y su amplia extensión son un problema para desarrollar estos proyectos. Más bien las mediciones en lugares puntuales como lagunas identificadas previamente como potencialmente peligrosas resulta más viable.

Por tanto, la metodología aplicada ofrece posibilidades para la identificación y evaluación de ciertas características de los glaciares y las lagunas como el área, el número, la altitud y la distancia. El trabajo de campo refuerza los resultados obtenidos en este tipo de estudios, sobre todo en lo que se refiere a la evaluación de la amenaza que requiere de más mediciones como profundidad y volumen que dimensionan, por ejemplo, la posible magnitud de un aluvión.

Finalmente, la hipótesis planteada se acepta en tanto que se han formado un mayor número de lagunas y la superficie que ocupan se ha incrementado entre los años 1991-2014, y además existen lagunas que por su crecimiento acelerado, cercanía a glaciares y a centros poblados (en algunos casos no necesariamente cercanos, pero expuestos por su localización en la ruta de recorrido del aluvión) representan una amenaza.



6. CONCLUSIONES

- a) El número de lagunas y la superficie total del área lagunar se ha incrementado. En el año 1991 se registraron 247 lagunas, las cuales cubrían un área de 4.4 km², y en el año 2014 se identificaron 329 lagunas que tenían una extensión total de 5.4 km². Además, la formación de nuevas lagunas y el incremento de la superficie lagunar se ha acelerado.
- b) La extensión glaciaria se ha reducido de 200.3 km² a 98.36 km²; no obstante, la tasa de derretimiento anual descendió en el período 2010-2014, pese a que la formación de lagunas en cuanto a número y superficie se ha acelerado. Esto puede explicarse por la topografía expuesta que deja el retroceso glaciario formando embalses naturales que posibilitan la formación de lagunas, pese al menor derretimiento glaciario de los glaciares ahora más pequeños.
- c) La correlación entre la superficie glaciaria y el número de lagunas indica una correlación alta entre ambos ($R^2 = 0.8$), por lo que el retroceso glaciario es un factor importante en la formación y crecimiento de las lagunas de la Cordillera del Vilcabamba.
- d) De las 329 lagunas identificadas en el 2014, 90 cumplen con al menos uno de los criterios de potencial amenaza. La mayoría (78) de estas lagunas sólo cumplen con un criterio, 11 lagunas con dos criterios y sólo una laguna (B062) se ajusta a tres de los criterios especificados en la metodología.
- e) En la Cordillera del Vilcabamba se encuentran 964 centros poblados, de los cuales 25 se encuentran a menos de 1km de distancia de las lagunas y otros 4 centros poblados (Río Blanco, Ahuaccata, Sauceda y Lluccasmayo Chico) se ubican valle abajo en zonas potencialmente expuestas a un aluvión (próximas al cauce de recorrido de la quebrada y final de la quebrada). En su mayoría estos centros poblados se encuentran en el distrito de Santa Teresa, seguido por el de Vilcabamba.
- f) La metodología basada en el sensoramiento remoto y SIG demostró ser adecuada para la identificación de lagunas y glaciares. Así como para la derivación de los parámetros de área, altitud, período de aparición, distancia lineal laguna - glaciario y laguna - centro poblado. Los criterios establecidos para la identificación de la potencial amenaza de estas lagunas brindan una aproximación sobre las lagunas que representan una amenaza y sobre los centros poblados expuestos. Esta metodología ofrece posibilidades en tanto que permite al investigador definir *a priori* cuáles son las lagunas de interés y que requieren de estudios más profundos.

7. RECOMENDACIONES

- a) Es prioritario realizar un estudio sobre el efecto de las variables climáticas (temperatura, humedad, precipitaciones y cobertura de nubosidad) y del ENSO sobre los glaciares de la Cordillera del Vilcabamba.
- b) Es necesario realizar estudios sobre detección de áreas lagunares y glaciares en un horizonte temporal más largo y con una mayor frecuencia de mediciones para poder determinar si efectivamente existe una correlación directa entre la evolución glaciar y el desarrollo de lagunas.
- c) Se recomienda realizar estudios sobre la amenaza de lagunas, analizando otras variables como el tipo de dique, de laguna y el borde libre. Las investigaciones que dispongan de imágenes con mayor resolución espacial pueden adicionar estos parámetros de estudio a los ya trabajados como parte de esta tesis.
- d) Es recomendable combinar estudios de profundidad-volumen (parametrización) mediante métodos de teledetección con mediciones batimétricas in-situ para determinar primero, cuán precisos son los métodos de teledetección aplicados en conjunto con métodos empíricos y, en segundo lugar, para determinar otras variables como el volumen y la magnitud del caudal que se podría desplazar ante un eventual desborde.
- e) Los estudios sobre la exposición y la vulnerabilidad (física, socio-económica, político-institucional) de las poblaciones que viven en la Cordillera de Vilcabamba son prácticamente inexistentes. Por lo que se recomendaría realizar investigaciones de este tipo. Un área prioritaria que requiere de estas investigaciones es el distrito de Santa Teresa donde se encuentran la mayor cantidad de lagunas que están en contacto con glaciares y además porque en este lugar ya ocurrieron eventos aluviónicos anteriormente.
- f) La utilización del ModelBuilder facilitó el proceso de obtención de resultados para generar datos en diferentes años de estudio. La utilización de esta herramienta además permite organizar las herramientas de geoprocésamiento que se emplearán por lo que su utilización es bastante recomendable. Existen otros métodos estadísticos más sofisticados como los programas R y MATLAB que también se podrían acoplar a la herramienta ModelBuilder.

- g) Para la delimitación de áreas lagunares y glaciares es recomendable la aplicación de índices como el NDWI y NDSI. Trabajando estos índices en conjunto con mapas de sombra (hillshade) y pendientes (slope) facilita bastante el trabajo, en lugar de realizar una delimitación manual.
- h) Si bien existen estudios donde se proponen umbrales que se pueden emplear para la identificación de glaciares y lagunas, tales como, los que se señalan en Silverio y Jaquet (2005) y Huggel et al. (2002), respectivamente. Es recomendable establecer umbrales propios, por los diferentes factores que pueden diferenciar las condiciones de un lugar y otro. Incluso también es sugerible que se definan umbrales para cada escena con la que se esté trabajando.
- i) La utilización de imágenes Landsat resultó ser viable en este estudio por las características del terreno que imposibilita los trabajos de campo, la extensión del área de estudio y la cantidad de lagunas que se tendrían que evaluar y porque generan un costo de cero. Para futuros estudios sobre amenaza y riesgo es aconsejable realizar primero un análisis satelital que permita tener una aproximación sobre las condiciones de las lagunas (período de formación, velocidad de crecimiento, si se encuentran en contacto con glaciares, próximas a centros poblados, incluso también otras variables que no se incluyen en este estudio como la profundidad, volumen, tipo de dique, tipo de laguna y borde libre). Posteriormente, en el trabajo de campo estos datos se corroboran y se completan aquellos que no se puedan derivar del análisis satelital.

BIBLIOGRAFÍA

- BAJRACHARYA, S. y P. MOOL
2009 "Glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods in the Mount Everest region, Nepal". *Annals of Glaciology*. pp. 81-86.
- BRADLEY, R. S., M. VUILLE, H. F. DIAZ y W. VERGARA
2006 "Threats to Water Supplies in the Tropical Andes". *Science*. Volumen 312, número 5781, pp. 1755-1756
- BUYTAERT, W y B. De Bièvre
2012 "Water for cities: The impact on climate change and demographic growth in the Tropical Andes". *Water Resources Research*. Volumen 48, pp. 1-13.
- CÁRDENAS, J., V. CARLOTTO, D. ROMERO, F. JAIMES y W. VALDIVIA
1997 Geología de los Cuadrángulos de Chuanquiri y Pacaypata. Hojas: 26-p, 27-p. Primera edición. Lima: INGEMMET, 217 pp.
- CAREY, M.
2005 "Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru". *Global and Planetary Change*. Volumen 47, pp. 122-134
- 2010 *In the Shadow of Melting Glaciers: Climate Change and Andean Society*. New York: Oxford University Press, 288 pp.
- CAREY, M., C. HUGGEL, J. BURY, C. PORTOCARRERO y W. HAEBERLI
2012 "An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru". *Climatic Change*. Volumen 112, pp. 733- 767
- CARLOTTO, V., J. CÁRDENAS, D. ROMERO, W. VALDIVIA y D. TINTAYA
1999 Geología de los Cuadrángulos de Quillabamba y Machupicchu. Hojas: 26-q y 27-q. Primera edición. Lima: INGEMMET, 319 pp.
- CHUVIECO, E.
1996 *Fundamentos de Teledetección espacial*. Tercera edición. Madrid: Ediciones RIALP, S.A., 568 pp.
- COUDRAIN, A., B. FRANCOU y Z. W. KUNDZEWICZ
2005 "Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources". *Hydrological Science Journal des Sciences Hydrologiques*. Volumen 50, pp. 925-932
- ERDAS
2006 IMAGINE AutoSync White Paper. Leica Geosystems, 20pp.

- FRANCOU, B., P. RIBSTEIN, H. SÉMIOND, C. PORTOCARRERO y A. RODRÍGUEZ
1995 "Balances de glaciares y clima en Bolivia y Perú: Impacto de los eventos ENSO". *Bull. Inst. fr. Etudes andines*. Volumen 24, número 3, pp. 661-670.
- FRANCOU, B., M. VUILLE, V. FAVIER y B. CÁCERES
2004 "New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28'S". *Journal of Geophysical Research*. Volumen 109, pp.1-17.
- FREY, H., C. HUGGEL, F. PAUL y W. HAEBERLI
2010 "Automated detection of glacier lakes based on remote sensing in view of assessing associated hazard potentials". *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*. Volumen 45, pp. 339-352.
- HAEBERLI, W., C. HUGEL, F. PAUL y M. ZEMP
2013 "Glacial Responses to Climate Change". En SHRODER. *Treatise on Geomorphology*. San Diego: Academic Press, Volumen 13, pp. 152-175.
- HANSHAW, M. y B. Bookhagen
2014 "Glacial areas, lake areas, and snowlines from 1975 to 2012: status of the Cordillera Vilcanota, including the Quelccaya Ice Cap, northern central Andes, Peru". *The Cryosphere*. Volumen 8, pp. 359-376
- HUDDART, D. y T. STOTT
2010 *Earth Environments. Past, present and future*. John Wiley & Sons, 912 pp.
- HUGGEL, C., A. KÄÄB, W. HAEBERLI, P. TEYSSEIRE y F. PAUL
2002 "Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts a case study in the Swiss Alps". *Can. Geotech.* Volumen 39, pp. 316-330.
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil)
2011 "Mapa de peligros, plan de usos de suelo y medidas de mitigación ante desastres de la ciudad de Santa Teresa". Informe final, volumen 1, 248 pp.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática)
2007 XI Censo de población y VI de Vivienda
<[http:// www.inei.gob.pe/](http://www.inei.gob.pe/)>. Consulta: 25 de setiembre de 2013.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales)
2004 Diagnóstico para la Estrategia Nacional para la reducción de Riesgos para el Desarrollo.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)
2013 *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1535 pp.

- 2014 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 688 pp.
- KALTENBORN, B. P., NELLEMAN C., VISTNES, I. I.
2010 High mountain glaciers and climate change. Challenges to human livelihoods and adaptation. UNEP, Birkeland Trykkeri, 56 pp.
- KNIGHT, P.
1999 *Glaciers*. Primera edición. Cheltenham: Stanley Thornes, 261 pp.
- KASER, G. y C. GEORGES
1999 "On the mass balance of low latitude glaciers with particular consideration of the Peruvian Cordillera Blanca". *Geografiska Annaler*. Volumen 81A, pp. 643-651.
- KASER, G. y H. OSMASTON
2002 *Tropical Glaciers*. New York: Cambridge University Press, 209 pp.
- LEMKE, P., J. REN, R. B. ALLEY, I. ALLISON, J. CARRASCO, G. FLATO, Y. FUJI, G. KASER, P. MOTE, R. H. THOMAS y T. ZHANG
2007 En: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC., 48 pp.
- LORIAUX, T. y G. CASASSA
2013 "Evolution of glacial lakes from the Northern Patagonia Icefield and terrestrial water storage in a sea-level rise context". *Global and Planetary Change*. Volumen 102, pp. 33-40.
- McKILLOP, R. y J. CLAGUE
2007 "Statistical, remote sensing-based approach for estimating the probability of catastrophic drainage from moraine dammed lakes in southwestern British Columbia". *Global and Planetary Change*. Volumen 56, pp. 153-171
- Ministerio del Ambiente (MINAM)
2014 < <http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download.aspx>>. Consulta: 06 de julio de 2014.
- Ministerio de Educación (MINEDU)
2014 < <http://escale.minedu.gob.pe/>>. Consulta: 06 de julio de 2014
- PAINTER, J.
2007 Deglaciation in the Andean regions. Human Development Report Office Occasional Paper. PNUD, 21 pp.
- PNUD
2008 Índice de Desarrollo Humano a nivel nacional, departamental y distrital 2007. <https://comunelugares.files.wordpress.com/2012/09/idh_anexo_estadistic_fi nal.xls>. Consulta: 10 de setiembre de 2013.

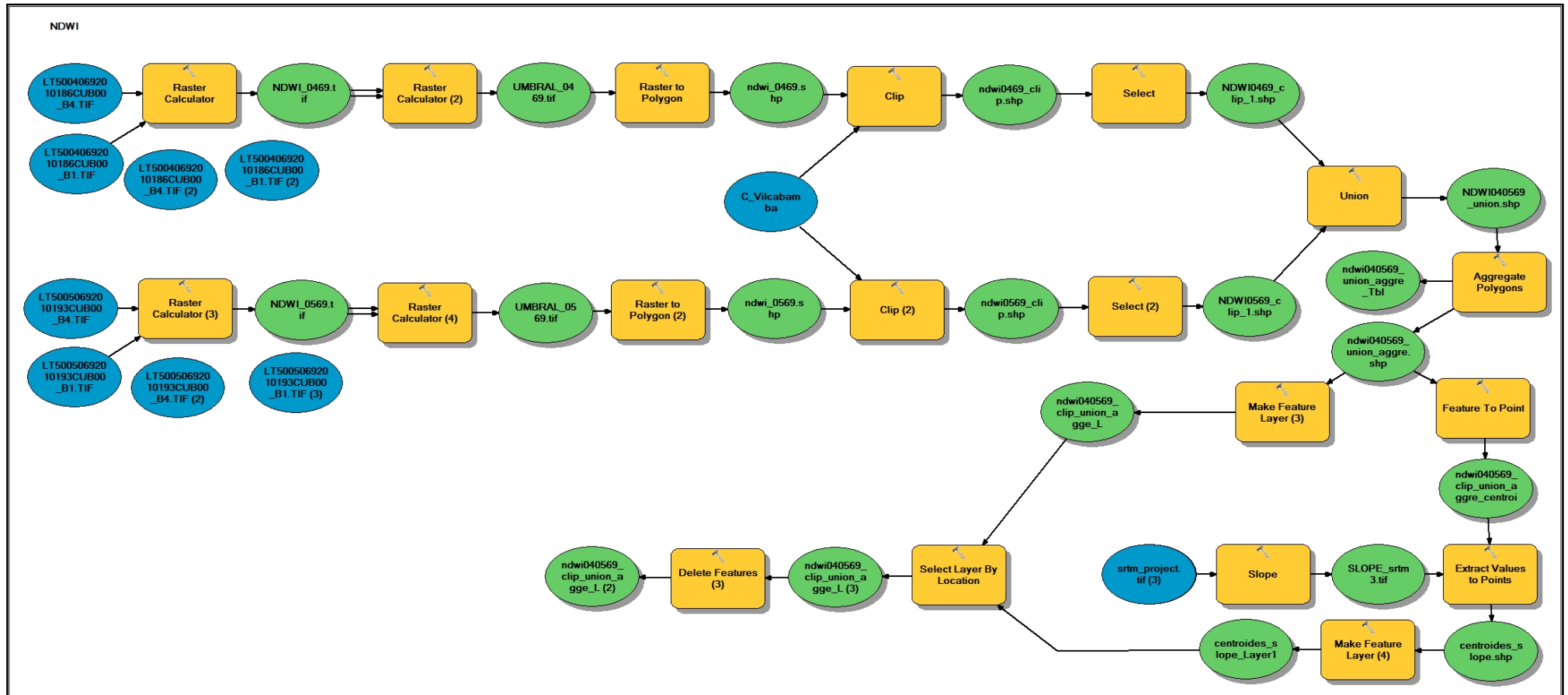
- POUYAUD, B., B. FRANCOU, P. CHEVALLIER y P. RIBSTEIN
1998 Contribución del programa “Nieves y Glaciares Tropicales” (NGT) al conocimiento de la variabilidad climática en los Andes. *Bull. Inst. fr. études andines*. Volumen 27, número 3, pp. 593-604.
- Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes (PRAA)
2011 Componente hidrológica: Determinación de la posibilidad hídrica presente y futura subcuenca del río Santa Teresa, 217 pp.
- PREDES (Centro de Estudios y Prevención de Desastres)
2007 Plan regional de atención y prevención de los desastres de la Región Cusco, 94 pp.
- RABATEL, A., B. FRANCOU, A. SORUCO, J. GOMEZ, B. CÁCERES, J. L. CEVALLOS, R. BASANTES, M. VUILLE, J.-E. SICART, C. HUGGEL, M. SCHEEL, Y. LEJEUNE, Y. ARNAUD, M. COLLET, T. CONDOM, G. CONSOLI, V. FAVIER, V. JOMELLI, R. GALARRAGA, P. GINOT, L. MAISINCHO, J. MENDOZA, M. MÉNÉGOZ, E. RAMIREZ, P. RIBSTEIN, W. SUAREZ, M. VILLACIS y P. WAGNON
2013 “Current state of glaciers in tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change”. *The Cryosphere*. Volumen 7, pp. 81-102
- ROSENWEIGH, C., G. CASASSA, D. J. CAROLY, A. IMESON, C. LIU, A. MENZEL, S. RAWLINS, T. L. ROOT, B. SEGUIN, P. TRYJANOWSKY
2007 Assessment of Observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC, 54 pp.
- SALZMANN, N, C. HUGGEL, M. ROHNER, W. SILVERIO, B.G. MARK, P. BURNS y C. PORTOCARRERO
2013 “Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes”. *The Cryosphere*. Volumen 7, pp. 103-118
- SILVERIO, W. y J. JAQUET
2005 “Glacial cover mapping (1987-1996) of the Cordillera Blanca (Peru) using satellite imagery”. *Remote Sensing of Environment*. Volumen 95, pp. 342-350.
- SUAREZ, W., M. CERNA, J. ORDÓÑEZ, H. FREY, C. GIRÁLDEZ y C. HUGGEL
2013 “Monitoring Glacier variations in the Urubamba and Vilcabamba Mountain Ranges, Peru, using Landsat 5 images”
- TARBUCK, E. y F. LUTGENS
2009 Earth: An introduction to physical geology. Octava edición. Pearson: Prentice Hall, 655 pp.

UGRH (Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos)

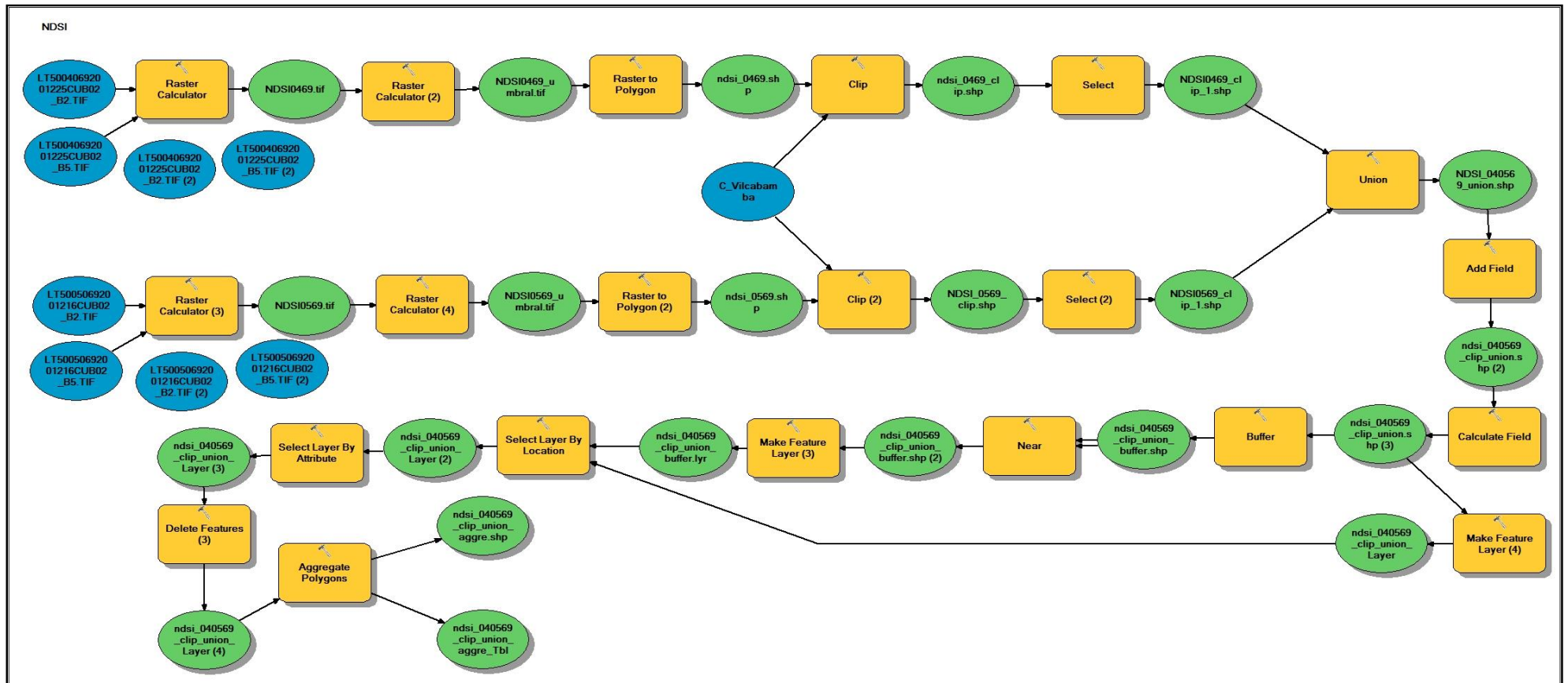
- 2012a Inventario de lagunas de la Cordillera Blanca, 31 pp.
- 2012b Inventario de lagunas de las Cordilleras Apolobamba, La Raya, Urubamba, Vilcabamba y Volcánica, 61 pp.
- 2014a Inventario de Lagunas Glaciares del Perú, 44 pp.
- 2014b Inventario de Glaciares del Perú, 56 pp.
- UNEP y WGMS
2008 *Global Glacier Changes: facts and figures*, 88 pp.
- VERGARA, W., A. DEEB, A. VALENCIA, R. BRADLEY, B. FRANCOU, A. ZARZAR, A. GRÜN WALDT y S. HAEUSSLING
- 2007 “Economic Impacts of Rapid Glacier Retreat in the Andes”. *EOS Transactions, American Geophysical Union*. Volumen 88, número 25, pp. 261-268.
- VUILLE, M., R. BRADLEY, M. WERNER y F. Keimig
2003 “20TH Century Climate Change in the Tropical Andes: Observations and Model Results”. *Climatic Ghange*. Volumen 59, pp. 75-99.
- VUILLE, M., B. FRANCOU, P. WAGNON, I. JUEN, G. KASER, B. MARK y R. BRADLEY
2008a “Climate Change and Tropical Andean Glaciers: Past, present and future”. *Earth Science Reviews*. Volumen 89, pp. 79-96.
- VUILLE, M., G. KASER e I. JUEN
2008b “Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation”. *Global and Planetary Change*. Volumen 62, pp. 14-28.
- ZAPATA, M.
2002 La dinámica glaciar en lagunas de la Cordillera Blanca. UGRH. Alta Montaña IRSM AS CR. Series A N° 19 (123), pp. 37-60

ANEXOS

Anexo 1: Modelo elaborado en ArcGis 10.1 para la identificación de áreas lagunares



Anexo 2: Modelo elaborado en ArcGis 10.1 para la identificación de áreas glaciares



Anexo 3: Inventario de lagunas de la Cordillera del Vilcabamba (2014)

Código	Provincia	Distrito	Este	Norte	Altitud	Área	Período de formación	Distancia lineal laguna-glaciar	Distancia lineal laguna- centro poblado
A001	La Convención	Santa Teresa	737670	8551645	3631	10800	< 1991	9505.88	4184.29
A002	La Convención	Santa Teresa	750280	8548433	3884	156600	< 1991	9740.81	2082.58
A003	La Convención	Santa Teresa	739040	8548220	4128	2700	< 1991	5868.05	2730.09
A004	La Convención	Santa Teresa	744980	8547463	4069	163800	< 1991	5495.24	540.97
A005	La Convención	Santa Teresa	747375	8547069	4162	40500	< 1991	6788.23	1274.80
A006	La Convención	Santa Teresa	748350	8547070	4097	6300	< 1991	7601.61	1247.23
A007	La Convención	Santa Teresa	747115	8546936	4192	20700	< 1991	6555.74	1600.44
A008	La Convención	Santa Teresa	740510	8546137	4296	96300	< 1991	3362.14	3068.02
A009	La Convención	Santa Teresa	746588	8546090	4114	41400	< 1991	5539.94	2104.51
A010	La Convención	Vilcabamba	735738	8545894	4145	4500	< 1991	5109.87	1224.11
A011	La Convención	Vilcabamba	730131	8546113	3956	20700	< 1991	5420.79	1380.05
A012	La Convención	Santa Teresa	744810	8546170	4313	900	2010-2014	4610.44	2000.54
A013	La Convención	Santa Teresa	744738	8545514	4244	371700	< 1991	3502.94	1202.66
A014	La Convención	Vilcabamba	729720	8545615	3864	5400	< 1991	5179.58	2061.34
A015	La Convención	Vilcabamba	736283	8544804	3974	11700	2010-2014	3895.15	1909.52
A016	La Convención	Santa Teresa	742584	8545012	4396	4500	< 1991	2730.00	931.27
A017	La Convención	Vilcabamba	737155	8545125	4103	5400	< 1991	3985.60	1634.39
A018	La Convención	Vilcabamba	736748	8545012	4039	30600	< 1991	3982.21	1638.85
A019	La Convención	Santa Teresa	745185	8545075	4260	7200	< 1991	3905.30	1827.98
A020	La Convención	Santa Teresa	743561	8544438	4354	18000	< 1991	2441.82	78.21
A021	La Convención	Santa Teresa	740968	8543686	4422	56700	< 1991	1020.00	1286.06
A022	La Convención	Santa Teresa	744074	8544465	4298	9900	< 1991	2737.90	618.21
A023	La Convención	Santa Teresa	741750	8543755	4422	1800	< 1991	1282.65	702.45

A024	La Convención	Santa Teresa	740730	8543725	4424	1800	< 1991	1140.00	1684.57
A025	La Convención	Santa Teresa	742700	8543580	4433	2700	< 1991	1395.89	281.93
A026	La Convención	Vilcabamba	739560	8543095	4360	1800	1991-2001	1194.74	2855.48
A027	La Convención	Santa Teresa	741675	8543200	4528	1800	< 1991	735.46	745.16
A028	La Convención	Vilcabamba	731200	8543150	4197	2700	< 1991	2324.18	3235.59
A029	La Convención	Vilcabamba	731537	8542840	4262	6300	< 1991	1888.09	3007.24
A030	La Convención	Santa Teresa	743260	8542018	4522	32400	< 1991	602.99	1504.23
A031	La Convención	Santa Teresa	743025	8541805	4516	3600	< 1991	551.54	1718.00
A032	La Convención	Vilcabamba	734526	8541121	4117	12600	< 1991	1698.38	4036.85
A033	La Convención	Vilcabamba	723851	8540103	4208	7200	< 1991	2896.98	2207.30
A034	La Convención	Vilcabamba	723789	8539883	4198	45000	< 1991	2613.96	2163.90
A035	La Convención	Santa Teresa	748394	8539329	4055	57600	< 1991	5732.59	986.37
A036	La Convención	Santa Teresa	750140	8539388	3701	71100	< 1991	6482.78	825.70
A037	La Convención	Vilcabamba	730941	8537002	4406	24300	< 1991	948.68	2844.31
A038	La Convención	Vilcabamba	736348	8538897	4363	157498	< 1991	1060.66	5658.98
A039	La Convención	Vilcabamba	722307	8538381	4501	19800	< 1991	720.00	2591.01
A040	La Convención	Vilcabamba	725295	8538640	4382	5400	< 1991	2053.41	4192.06
A041	La Convención	Santa Teresa	749643	8538186	3885	31500	< 1991	5250.77	1994.34
A042	La Convención	Vilcabamba	737952	8541608	4286	15300	2001-2010	523.93	4733.21
A043	La Convención	Vilcabamba	737010	8539344	4369	13494	1991-2001	624.26	6355.93
A044	La Convención	Santa Teresa	748407	8537686	4182	9000	< 1991	4290.00	2338.23
A045	La Convención	Santa Teresa	746989	8537913	4105	42300	< 1991	4118.86	1841.99
A046	La Convención	Santa Teresa	746637	8537699	4074	63900	< 1991	3870.00	2131.00
A047	La Convención	Santa Teresa	749329	8537612	3905	40510	< 1991	4551.51	2553.13
A048	La Convención	Santa Teresa	751404	8537288	3987	27900	< 1991	5802.11	3324.81
A049	La Convención	Santa Teresa	747033	8537204	4128	51300	< 1991	3370.83	2509.77
A050	La Convención	Vilcabamba	731094	8536716	4405	37800	< 1991	690.00	3119.85

A051	La Convención	Santa Teresa	743313	8536393	4218	43200	< 1991	2617.06	471.42
A052	La Convención	Santa Teresa	751608	8536582	3972	11700	< 1991	5623.46	3482.18
A053	La Convención	Santa Teresa	747535	8536218	4288	28800	< 1991	2552.82	3077.46
A054	La Convención	Santa Teresa	740085	8536390	4388	1800	< 1991	763.68	3489.75
A055	La Convención	Santa Teresa	747302	8535942	4339	59400	< 1991	2175.98	2894.73
A056	La Convención	Vilcabamba	731142	8535772	4596	4500	1991-2001	305.94	4146.75
A057	La Convención	Santa Teresa	750630	8535400	4112	900	2010-2014	4230.96	3152.21
A058	La Convención	Santa Teresa	747330	8534695	4452	1800	< 1991	1157.63	3477.87
A059	La Convención	Santa Teresa	744105	8534785	4647	3600	1991-2001	926.12	1713.30
A060	La Convención	Santa Teresa	739398	8534702	4486	16200	< 1991	646.22	4603.21
A061	La Convención	Santa Teresa	746610	8534605	4472	1800	< 1991	900.00	2941.45
A062	La Convención	Santa Teresa	743646	8534589	4458	30600	< 1991	899.00	1886.07
A063	La Convención	Santa Teresa	745543	8534077	4554	17100	< 1991	547.45	2627.17
A064	La Convención	Santa Teresa	741075	8533291	4315	12600	< 1991	391.15	4316.81
A065	La Convención	Santa Teresa	742339	8532297	4507	17100	< 1991	591.69	4578.71
A066	La Convención	Santa Teresa	742065	8533255	4342	3600	< 1991	1194.74	3913.67
A067	La Convención	Santa Teresa	750923	8532644	4467	7200	< 1991	2785.48	1579.94
A068	La Convención	Santa Teresa	742656	8532561	4470	21599	< 1991	494.77	4211.25
A069	La Convención	Santa Teresa	751967	8532496	4050	18900	< 1991	3719.27	597.40
A070	La Convención	Santa Teresa	742555	8532225	4511	5400	< 1991	465.73	4601.25
A071	Urubamba	Machupicchu	769631	8531265	4534	9900	< 1991	534.13	2307.28
A072	La Convención	Santa Teresa	750924	8530408	4214	4500	< 1991	2836.23	824.92
A073	Urubamba	Ollantaytambo	793425	8527945	4401	7200	< 1991	7455.05	1975.70
A074	Urubamba	Ollantaytambo	793380	8528125	4393	1800	< 1991	7419.47	1905.51
A075	Urubamba	Ollantaytambo	793935	8527615	4521	1800	< 1991	8061.97	1459.95
A076	Urubamba	Ollantaytambo	794010	8527540	4527	900	2010-2014	8163.75	1397.32
A077	Anta	Huarocondo	785498	8524742	4203	45900	< 1991	1252.84	453.01

A078	La Convención	Santa Teresa	763325	8523715	4476	86400	< 1991	582.49	3915.24
A079	La Convención	Santa Teresa	759813	8523523	4371	9000	< 1991	840.00	2820.08
A080	La Convención	Vilcabamba	708557	8549479	3949	21600	< 1991	8348.68	2708.24
A081	La Convención	Vilcabamba	718754	8545345	4117	45000	< 1991	3821.68	2191.81
A082	La Convención	Vilcabamba	712955	8543764	4355	46800	< 1991	1747.48	4162.63
A083	La Convención	Vilcabamba	718119	8542516	4254	9000	< 1991	3197.08	3354.77
A084	La Convención	Vilcabamba	711717	8542482	4561	10840	< 1991	1127.30	4116.36
A085	La Convención	Vilcabamba	711937	8542424	4578	7200	< 1991	1026.16	3916.14
A086	La Convención	Santa Teresa	747210	8537470	4133	900	2010-2014	3810.35	2383.59
A087	La Convención	Santa Teresa	740160	8536360	4392	900	2010-2014	849.59	3434.95
A088	La Convención	Santa Teresa	746340	8548840	4218	900	< 1991	7687.73	1124.51
A089	La Convención	Santa Teresa	743280	8544595	4390	1800	< 1991	2523.57	154.08
A090	La Convención	Vilcabamba	724500	8543320	4284	900	2010-2014	6123.60	600.97
A091	La Convención	Santa Teresa	746820	8537380	4128	900	< 1991	3691.10	2524.52
A092	La Convención	Santa Teresa	752550	8518555	4746	1800	2001-2010	474.34	5359.82
A093	La Convención	Santa Teresa	757800	8520215	4665	5400	1991-2001	484.67	2790.63
A094	La Convención	Santa Teresa	759870	8523745	4321	1800	< 1991	1002.65	2955.55
A095	La Convención	Santa Teresa	761621	8532538	3980	27000	< 1991	2889.98	2288.07
A096	La Convención	Santa Teresa	762141	8531800	4294	6300	< 1991	2197.38	1457.63
A097	La Convención	Santa Teresa	761940	8530360	4657	900	< 1991	780.00	1348.01
A098	La Convención	Santa Teresa	761385	8525185	4220	3600	< 1991	740.94	4880.93
A099	La Convención	Santa Teresa	761895	8524540	4333	1800	< 1991	829.76	5057.01
A100	Urubamba	Machupicchu	767487	8526401	4514	18900	1991-2001	456.95	2896.17
A101	Anta	Huarocondo/Ancahuasi	790092	8517823	4574	18000	< 1991	5536.69	1290.61
A102	Urubamba	Machupicchu	772920	8530315	4594	1800	< 1991	1777.10	1917.03
A103	Urubamba	Ollantaytambo	783180	8522125	4705	1800	< 1991	1537.34	1350.21
A104	Urubamba	Ollantaytambo	778852	8531500	4248	3600	< 1991	2825.26	1774.31

A105	Urubamba	Ollantaytambo	783900	8530540	4269	8100	< 1991	1166.92	1761.71
A106	Urubamba	Ollantaytambo	782574	8528923	4841	18900	2001-2010	0.00	2990.19
A107	Urubamba	Ollantaytambo	783240	8528725	4656	5400	< 1991	570.00	2413.03
A108	Urubamba	Ollantaytambo	781687	8528020	4671	7200	1991-2001	241.87	2215.09
A109	Anta	Huarocondo	783972	8523988	4550	4500	< 1991	690.65	588.80
A110	Anta	Huarocondo	785265	8528140	4620	45033	< 1991	424.26	750.15
A111	Urubamba	Ollantaytambo	780570	8525170	4231	900	< 1991	2825.26	1027.96
A112	Urubamba	Ollantaytambo	782730	8529040	4803	900	< 1991	192.09	2993.68
A113	Urubamba	Ollantaytambo	783140	8528630	4663	2700	2010-2014	480.94	2452.02
A114	Urubamba	Ollantaytambo	783420	8528860	4638	900	2010-2014	676.83	2403.02
A115	La Convención	Santa Teresa	749985	8546875	3962	3600	< 1991	8814.95	1199.47
A116	La Convención	Santa Teresa	750304	8547207	3924	20700	< 1991	9194.79	1342.21
A117	La Convención	Santa Teresa	746100	8547340	4234	900	2010-2014	6291.71	931.51
A118	La Convención	Santa Teresa	746600	8548020	4167	5400	< 1991	7107.66	1074.95
A119	La Convención	Santa Teresa	746175	8549035	4186	3600	< 1991	7757.65	1140.13
A120	La Convención	Santa Teresa	739065	8550745	3996	3600	< 1991	8313.47	4610.56
A121	La Convención	Santa Teresa	737775	8551840	3649	1800	< 1991	9707.07	4163.20
A122	La Convención	Santa Teresa	741210	8543965	4438	1800	2010-2014	1412.23	1281.71
A123	La Convención	Santa Teresa	741252	8543026	4550	4500	< 1991	496.59	1191.08
A124	La Convención	Santa Teresa	744004	8542536	4386	7200	< 1991	1506.59	804.15
A125	La Convención	Vilcabamba	740475	8542075	4485	7200	< 1991	284.60	2309.56
A126	La Convención	Vilcabamba	740760	8541760	4610	900	2001-2010	301.50	2342.66
A127	La Convención	Vilcabamba	740745	8541670	4611	1800	2001-2010	323.11	2407.87
A128	La Convención	Vilcabamba	739155	8543215	4307	3600	< 1991	1596.78	3233.37
A129	La Convención	Vilcabamba	735210	8540977	3965	9900	< 1991	1800.25	4698.12
A130	La Convención	Vilcabamba	734790	8541400	4093	900	< 1991	2111.54	4442.36
A131	La Convención	Vilcabamba	734370	8541190	4132	2700	< 1991	1615.55	3948.95

A132	La Convención	Vilcabamba	733849	8541647	4418	22500	< 1991	1274.56	3584.63
A133	La Convención	Vilcabamba	733710	8541408	4358	3600	< 1991	1110.00	3411.20
A134	La Convención	Vilcabamba	739580	8544247	4451	8100	< 1991	1955.76	2877.36
A135	La Convención	Vilcabamba	739710	8544070	4499	900	2010-2014	1780.90	2753.86
A136	La Convención	Santa Teresa	740685	8545390	4414	1800	< 1991	2820.00	2565.34
A137	La Convención	Santa Teresa	740010	8546830	4283	900	2010-2014	4310.82	3303.24
A138	La Convención	Santa Teresa	739272	8546974	4160	13500	< 1991	4583.33	2469.89
A139	La Convención	Vilcabamba	737570	8544734	4207	20700	< 1991	3457.43	2102.20
A140	La Convención	Vilcabamba	738210	8544520	4237	900	< 1991	3130.51	2671.41
A141	La Convención	Vilcabamba	738090	8545525	4213	1800	< 1991	3911.52	1823.35
A142	La Convención	Vilcabamba	738225	8545714	4180	9000	< 1991	3936.29	1784.92
A143	La Convención	Vilcabamba	736245	8546275	4181	3600	2001-2010	5380.80	605.73
A144	La Convención	Vilcabamba	731300	8546300	4165	2700	< 1991	5346.40	654.03
A145	La Convención	Vilcabamba	727335	8544025	3926	7200	< 1991	5634.97	1176.03
A146	La Convención	Vilcabamba	729034	8539471	4397	6300	< 1991	2200.45	1555.23
A147	La Convención	Vilcabamba	723315	8545660	3904	1800	< 1991	8126.90	1610.28
A148	La Convención	Vilcabamba	725570	8541120	4137	2700	< 1991	4391.18	2690.08
A149	La Convención	Vilcabamba	727812	8537678	4417	50400	< 1991	1566.05	3344.11
A150	La Convención	Vilcabamba	726850	8537570	4472	10800	< 1991	966.08	4358.51
A151	La Convención	Vilcabamba	726630	8537215	4602	1800	< 1991	576.28	4766.36
A152	La Convención	Santa Teresa	742781	8533296	4547	7200	< 1991	483.74	3503.89
A153	La Convención	Vilcabamba	723454	8539976	4235	13500	< 1991	2577.21	1888.55
A154	La Convención	Santa Teresa	749880	8533120	4550	900	1991-2001	2185.89	2110.05
A155	La Convención	Santa Teresa	750270	8532910	4736	900	2010-2014	2363.15	1856.58
A156	La Convención	Santa Teresa	747420	8546800	4140	6300	< 1991	6706.73	1602.91
A157	La Convención	Santa Teresa	747660	8547010	4147	900	< 1991	7067.85	1364.62
A158	La Convención	Vilcabamba	732055	8544745	4178	63900	< 1991	3601.12	2146.13

A159	La Convención	Santa Teresa	743550	8544550	4363	900	2001-2010	2592.18	162.60
A160	La Convención	Vilcabamba	733860	8539210	4571	900	1991-2001	189.74	3351.35
A161	La Convención	Vilcabamba	733987	8539886	4356	18900	< 1991	670.82	3334.10
A162	La Convención	Santa Teresa	741049	8539160	4535	45000	2001-2010	0.00	3231.79
A163	La Convención	Santa Teresa	748716	8538469	4234	18900	< 1991	5120.96	1844.27
A164	La Convención	Santa Teresa	749110	8537810	3935	2700	< 1991	4744.37	2556.07
A165	Urubamba	Machupicchu	770998	8534381	4118	26100	< 1991	2120.47	3557.53
A166	Urubamba	Machupicchu	770564	8533203	4525	27000	< 1991	882.33	4408.08
A167	La Convención	Santa Teresa	750330	8531515	4562	1800	< 1991	2040.00	446.20
A168	La Convención	Vilcabamba	705679	8550010	3856	15300	< 1991	10311.67	1545.05
A169	La Convención	Santa Teresa	747270	8537590	4125	900	2010-2014	3937.21	2261.07
A170	La Convención	Santa Teresa	747210	8537710	4119	900	2001-2010	4048.56	2144.00
A171	La Convención	Santa Teresa	758330	8522640	4057	2700	2001-2010	1173.46	1326.54
A172	Urubamba	Machupicchu	772665	8530375	4619	3600	< 1991	1532.64	2153.52
A173	Urubamba	Ollantaytambo	781710	8527930	4663	900	2001-2010	295.47	2265.07
A174	Urubamba	Ollantaytambo	782640	8529130	4809	900	1991-2001	212.13	2909.05
A175	La Convención	Santa Teresa	741330	8543980	4434	900	2001-2010	1470.92	1184.18
A176	La Convención	Santa Teresa	748200	8532100	4695	900	1991-2001	480.00	2353.28
A177	La Convención	Santa Teresa	746100	8534200	4491	900	< 1991	649.00	2891.92
A178	La Convención	Santa Teresa	747252	8533774	4559	4500	< 1991	494.77	3949.95
A179	La Convención	Santa Teresa	747590	8546420	4039	2700	< 1991	6602.86	1931.57
A180	La Convención	Vilcabamba	733935	8539225	4575	3600	2010-2014	174.93	3403.75
A181	La Convención	Santa Teresa	748230	8532250	4666	900	2010-2014	630.00	2397.65
A182	La Convención	Santa Teresa	743472	8546104	4341	4500	< 1991	4016.42	1616.39
A183	La Convención	Santa Teresa	748110	8535790	4271	2700	< 1991	2487.83	3822.12
A184	La Convención	Santa Teresa	748245	8539645	4021	1800	< 1991	6133.88	878.53
A185	La Convención	Santa Teresa	744540	8537740	3830	6300	< 1991	3746.64	1193.66

A186	Urubamba	Machupicchu	774795	8531110	4097	1800	< 1991	3755.16	1631.49
A187	La Convención	Santa Teresa	748880	8539190	4230	2700	< 1991	5888.72	1387.14
A188	La Convención	Santa Teresa	746850	8539330	4033	900	< 1991	5119.81	715.97
A189	La Convención	Santa Teresa	744240	8536630	4213	900	< 1991	2713.47	126.22
A190	La Convención	Vilcabamba	739290	8544790	4359	900	2001-2010	2613.96	3229.29
A191	La Convención	Santa Teresa	747360	8546680	4139	900	2010-2014	6623.41	1775.69
A192	La Convención	Santa Teresa	750570	8536240	4027	900	2001-2010	4609.57	3886.41
A193	La Convención	Santa Teresa	743777	8534071	4482	121500	< 1991	212.13	2304.99
A194	Urubamba	Ollantaytambo	782610	8532520	3738	900	2001-2010	3273.71	520.55
A195	La Convención	Santa Teresa	742215	8542877	4472	3600	< 1991	602.99	553.17
A196	La Convención	Vilcabamba	734940	8540650	4150	900	< 1991	1637.13	4407.04
A197	La Convención	Santa Teresa	749640	8532400	4584	900	2010-2014	1559.13	1502.79
A198	La Convención	Santa Teresa	743410	8534290	4490	2700	< 1991	848.53	2367.41
A199	Urubamba	Machupicchu	768390	8524915	4786	1800	2001-2010	361.25	4372.74
B001	La Convención	Vilcabamba	725145	8536150	4585	3600	< 1991	1087.47	5618.88
B002	La Convención	Santa Teresa	729985	8534943	4416	34202	< 1991	523.93	3618.44
B003	La Convención	Santa Teresa	723514	8533803	4552	14400	< 1991	1110.00	4824.94
B004	La Convención	Santa Teresa	726100	8532920	4581	2700	< 1991	1178.81	2700.32
B005	La Convención	Santa Teresa	721444	8532613	4397	26100	< 1991	402.49	3325.35
B006	La Convención	Santa Teresa	737235	8531005	4883	3600	2010-2014	30.00	5150.24
B007	La Convención	Santa Teresa	738769	8528743	4760	40500	< 1991	296.98	2850.42
B008	La Convención	Santa Teresa	738937	8528470	4761	3600	< 1991	563.65	2699.23
B009	La Convención	Santa Teresa	741585	8526145	4570	3600	< 1991	2460.00	1075.60
B010	La Convención	Santa Teresa	735155	8524030	4507	46800	< 1991	1140.39	1846.35
B011	Anta	Limatambo	766023	8522768	4729	61200	1991-2001	150.00	3959.98
B012	Anta	Mollepata	760240	8519875	4471	5390	1991-2001	657.95	3071.11
B013	Anta	Mollepata	761581	8519675	4268	53112	< 1991	697.78	1718.12

B014	Abancay	Huanipaca	718007	8509073	4148	17100	< 1991	9935.57	2119.08
B015	Abancay	Huanipaca	725700	8502190	4323	900	2010-2014	1599.31	1761.33
B016	Abancay	Abancay	724540	8498436	4528	13500	< 1991	1106.35	2200.63
B017	Abancay	Tamburco	728505	8498328	3813	69300	< 1991	3128.79	187.74
B018	La Convención	Vilcabamba	713185	8542300	4377	11700	< 1991	1134.06	2891.87
B019	La Convención	Vilcabamba	711627	8537060	3998	8100	1991-2001	1331.54	106.32
B020	La Convención	Vilcabamba	716003	8537225	4278	52200	< 1991	3336.35	1019.60
B021	La Convención	Vilcabamba	725280	8535865	4586	1800	1991-2001	982.70	5330.37
B022	La Convención	Vilcabamba	709655	8534510	4089	5400	< 1991	1302.50	584.65
B023	La Convención	Vilcabamba	709445	8534525	4103	9900	< 1991	1260.00	775.61
B024	La Convención	Vilcabamba	705810	8529395	4489	5400	< 1991	1726.76	2726.04
B025	La Convención	Vilcabamba	714424	8524893	4369	15300	< 1991	1980.00	4103.01
B026	La Convención	Vilcabamba	705649	8523186	4162	19800	< 1991	4841.54	2557.88
B027	La Convención	Vilcabamba	712137	8524298	4443	10800	< 1991	531.60	4561.27
B028	La Convención	Vilcabamba	712437	8523730	4431	122400	< 1991	900.50	4976.34
B029	La Convención	Vilcabamba	704490	8523715	4279	7200	< 1991	5768.12	1902.63
B030	La Convención	Vilcabamba	723495	8535220	4538	1800	< 1991	1744.13	4797.75
B031	La Convención	Vilcabamba	705810	8523310	4156	900	< 1991	4722.88	2555.85
B032	Abancay	Huanipaca	723285	8512015	4239	3600	< 1991	11252.56	2062.04
B033	Abancay	Tamburco	729210	8500930	4462	900	2010-2014	3468.73	891.35
B034	Abancay	Abancay	724800	8498740	4522	900	2010-2014	1046.57	1888.34
B035	Abancay	Tamburco	725430	8499910	4682	6300	2010-2014	436.81	533.55
B036	Abancay	Tamburco	729280	8496230	3313	2700	< 1991	5443.99	260.66
B037	Abancay	Tamburco	725340	8499310	4566	900	2010-2014	939.15	1147.46
B038	Abancay	Huanipaca	722142	8504199	4161	18000	< 1991	3648.92	1016.25
B039	La Convención	Vilcabamba	699237	8526689	4226	9900	< 1991	8604.30	2734.32
B040	La Convención	Vilcabamba	704385	8524000	4248	1800	1991-2001	5785.96	1708.65

B041	La Convención	Vilcabamba	708120	8528185	4655	1800	2010-2014	305.94	3684.05
B042	La Convención	Vilcabamba	708535	8528003	4567	10800	< 1991	417.85	3279.62
B043	La Convención	Vilcabamba	707325	8528575	4624	3600	< 1991	523.93	3798.96
B044	La Convención	Vilcabamba	708795	8534920	4361	3600	2010-2014	702.28	1422.91
B045	La Convención	Vilcabamba	709710	8528710	4626	900	2010-2014	755.38	2035.01
B046	La Convención	Vilcabamba	713640	8525119	4464	18000	< 1991	1209.34	4141.71
B047	La Convención	Vilcabamba	715860	8524600	3925	900	2010-2014	3492.91	4083.33
B048	La Convención	Santa Teresa	734535	8523490	4650	5400	< 1991	724.98	2580.94
B049	La Convención	Santa Teresa	739320	8523820	4825	8100	2001-2010	60.00	1206.49
B050	La Convención	Santa Teresa	737250	8524150	4627	900	2010-2014	870.00	1234.30
B051	La Convención	Santa Teresa	743460	8518510	4441	8100	< 1991	930.48	3437.95
B052	La Convención	Santa Teresa	744769	8517793	4450	9900	< 1991	680.15	4338.69
B053	Anta	Mollepata	750431	8512083	4324	7200	< 1991	2612.76	2407.78
B054	Anta	Limatambo	766035	8522515	4748	3600	< 1991	403.61	3846.58
B055	La Convención	Vilcabamba	725050	8536070	4591	2700	1991-2001	1207.48	5624.45
B056	La Convención	Vilcabamba	725160	8535745	4594	1800	< 1991	902.50	5308.69
B057	La Convención	Vilcabamba	725535	8534920	4845	3600	2010-2014	0.00	4434.10
B058	La Convención	Vilcabamba	725790	8534890	4913	900	2010-2014	0.00	4259.26
B059	La Convención	Santa Teresa	730753	8532635	4404	10800	< 1991	324.50	2438.80
B060	La Convención	Santa Teresa	735120	8527855	4469	1800	< 1991	1200.38	1431.96
B061	La Convención	Santa Teresa	735588	8527003	4378	9000	< 1991	999.05	993.31
B062	La Convención	Santa Teresa	737404	8527399	4719	98100	2001-2010	30.00	1768.89
B063	La Convención	Santa Teresa	737782	8527161	4652	9900	1991-2001	180.00	1556.95
B064	La Convención	Santa Teresa	720930	8533045	4723	5400	1991-2001	618.47	2689.92
B065	Anta	Limatambo	766460	8519580	4564	2700	< 1991	684.10	3052.80
B066	La Convención	Vilcabamba	713325	8539165	4688	3600	2001-2010	108.17	1244.71
B067	La Convención	Santa Teresa	738017	8523532	4734	20700	< 1991	152.97	1315.70

B068	La Convención	Vilcabamba	712860	8537553	4517	3600	< 1991	804.98	971.44
B069	La Convención	Santa Teresa	729960	8535835	4648	1800	2001-2010	872.07	4124.52
B070	La Convención	Santa Teresa	738510	8527300	4737	900	2010-2014	228.47	1619.10
B071	Anta	Limatambo	769780	8519910	4857	2700	< 1991	2340.19	6033.17
B072	La Convención	Santa Teresa	735777	8521696	4573	9002	< 1991	271.66	627.05
B073	La Convención	Santa Teresa	736900	8521560	4381	2700	< 1991	488.36	1022.34
B074	La Convención	Vilcabamba	723697	8534952	4568	35100	< 1991	1578.92	4893.51
B075	Anta	Limatambo	783110	8521140	4818	2700	< 1991	1586.60	2141.77
B076	La Convención	Santa Teresa	723090	8534035	4696	1800	< 1991	735.46	4413.01
B077	Abancay	Abancay	724335	8498275	4528	1800	2010-2014	1106.35	2505.18
B078	La Convención	Vilcabamba	711270	8526430	4689	900	2001-2010	676.83	2521.54
B079	La Convención	Vilcabamba	711420	8526550	4685	900	2001-2010	835.70	2379.22
B080	Anta	Mollepata	764550	8521990	4409	900	2010-2014	1395.89	2572.56
B081	La Convención	Santa Teresa	731893	8530712	4692	22509	2001-2010	240.00	1855.43
B082	La Convención	Santa Teresa	735270	8521750	4707	900	2001-2010	94.87	989.69
C001	La Convención	Vilcabamba	706618	8547162	3745	267300	< 1991	7137.54	2756.09
C002	La Convención	Vilcabamba	708564	8546398	4615	4500	< 1991	6076.31	2078.02
C003	La Convención	Vilcabamba	708615	8546298	4622	7200	< 1991	5948.48	1988.08
C004	La Convención	Vilcabamba	702441	8545384	3677	9000	< 1991	7454.56	3920.08
C005	La Convención	Vilcabamba	706500	8543500	4201	900	< 1991	4349.17	1178.98
C006	La Convención	Vilcabamba	707610	8542531	4470	6300	< 1991	2847.63	1836.66
C007	La Convención	Vilcabamba	707955	8542720	4445	1800	< 1991	2812.33	1680.26
C008	La Convención	Vilcabamba	691672	8541388	3590	23400	< 1991	4402.24	2656.81
C009	La Convención	Vilcabamba	710535	8540935	4331	3600	< 1991	1049.57	3723.91
C010	La Convención	Vilcabamba	691778	8540607	3853	16200	< 1991	3704.12	2947.94
C011	La Convención	Vilcabamba	700537	8539761	3847	79200	< 1991	3178.44	2423.46
C012	La Convención	Vilcabamba	708828	8538946	4384	44100	< 1991	782.30	3181.91

C013	La Convención	Vilcabamba	687520	8538870	3813	2700	< 1991	6214.85	5181.88
C014	La Convención	Vilcabamba	700740	8538670	4075	900	< 1991	2686.63	3251.39
C015	La Convención	Vilcabamba	701218	8538736	4006	101700	< 1991	2052.75	3421.45
C016	La Convención	Vilcabamba	696310	8537620	4009	57600	< 1991	2066.52	1049.81
C017	La Convención	Vilcabamba	698786	8537997	4101	12600	< 1991	4394.77	2470.13
C018	La Convención	Vilcabamba	701430	8537170	4298	6300	< 1991	1771.02	4703.71
C019	La Convención	Vilcabamba	696970	8537420	4100	2700	< 1991	2880.16	1935.79
C020	La Convención	Vilcabamba	701040	8537148	4201	114302	< 1991	1986.58	4131.73
C021	La Convención	Vilcabamba	702063	8537010	4294	8100	< 1991	1209.34	5272.90
C022	La Convención	Vilcabamba	699540	8535120	4210	8100	< 1991	3925.88	4811.54
C023	La Convención	Vilcabamba	694276	8534959	4129	41400	< 1991	2087.10	2512.30
C024	La Convención	Vilcabamba	700268	8532114	4119	41400	< 1991	3894.23	1691.31
C025	La Convención	Vilcabamba	706386	8530318	4546	13500	< 1991	1548.71	2646.97
C026	La Convención	Vilcabamba	700300	8528120	4336	2700	< 1991	7164.41	1962.30
C027	La Convención	Vilcabamba	706237	8530068	4618	3600	< 1991	1572.93	2673.03
C028	La Convención	Vilcabamba	708750	8529400	4659	900	2010-2014	699.71	3020.84
C029	La Convención	Vilcabamba	710435	8543390	4641	5400	< 1991	2616.20	2752.09
C030	La Convención	Vilcabamba	709665	8546515	4418	3600	< 1991	5688.62	2758.21
C031	La Convención	Vilcabamba	708349	8547378	4225	7200	< 1991	7062.69	2955.73
C032	La Convención	Vilcabamba	708378	8546380	4618	4500	< 1991	6083.57	1994.74
C033	La Convención	Vilcabamba	705300	8535540	4453	8100	< 1991	649.00	4384.73
C034	La Convención	Vilcabamba	705047	8535820	4446	10800	< 1991	810.56	4551.53
C035	La Convención	Vilcabamba	705360	8535220	4438	11700	< 1991	720.00	4112.85
C036	La Convención	Vilcabamba	705360	8537920	4675	900	2001-2010	189.74	4741.03
C037	La Convención	Vilcabamba	701670	8540380	4104	900	2001-2010	3012.13	3407.49
C038	La Convención	Vilcabamba	700695	8539285	3941	5400	< 1991	2966.51	2904.80
C039	La Convención	Vilcabamba	702073	8544333	4078	8100	< 1991	6494.43	3051.09

C040	La Convención	Vilcabamba	694050	8534845	4133	1800	< 1991	2224.45	2727.63
C041	La Convención	Vilcabamba	696283	8535337	4100	17100	< 1991	2850.47	2945.37
C042	La Convención	Vilcabamba	690887	8536349	3747	26100	< 1991	2686.80	3279.46
C043	La Convención	Vilcabamba	706110	8546800	3746	900	< 1991	7274.12	2914.03
C044	La Convención	Vilcabamba	708351	8538374	4373	14400	< 1991	553.17	3465.82
C045	La Convención	Vilcabamba	707334	8529142	4784	4500	< 1991	180.00	4084.80
C046	La Convención	Vilcabamba	695242	8536330	4559	3600	< 1991	1471.22	1571.67
C047	La Convención	Vilcabamba	694170	8534770	4120	900	2010-2014	2336.34	2812.28
C048	La Convención	Vilcabamba	709380	8538550	4641	900	< 1991	228.47	2663.87

