

MONITOREO DEL NEVADO CHACHACOMANI Y SU EFECTO SOBRE LOS BOFEDALES Y LA PROVISIÓN DE AGUA DULCE EN EL SECTOR – PROV LOS ANDES LA PAZ – BOLIVIA.

(Investigación con imágenes satelitales LANDSAT TM)

José Luis Delgado A (1)

RESUMEN:

La cuenca del nevado Chachacomani, se encuentra en el Departamento de La Paz - Bolivia, Provincia Los Andes, Municipio de Batallas., cubriendo un área total de 336.34 Km² (divididos en seis sub cuencas), formando parte de la Cordillera Oriental de Los Andes Sudamericanos.

El objetivo general planteado en el proyecto es: “Mejorar la información sobre el estado del nevado Chachacomani mediante el uso de imágenes satelitales, verificar si los cambios climáticos globales están afectando al espejo del nevado, para de esta tener insumos para la aplicación de modelos de gestión territorial, y la provisión de agua dulce al sector”. A este efecto, se han usado imágenes satelitales LANDSAT TM, del periodo de años de 1986 al 2014, así como el aforo de los ríos de las seis subcuencas para el año 2015.

Estas imágenes se han analizado numéricamente, mediante el empleo de la determinación de índices (NDSI para los nevados y NDVI para los bofedales), mediante operaciones matemáticas de álgebra de bandas, que ha permitido de manera eficiente la discriminación por un lado entre zonas cubiertas y no cubiertas con nevados; y por otra, las zonas cubiertas y no cubiertas con bofedales.

De este análisis, se ha determinado que existe una tasa lineal de retroceso del glacial de 36 hectáreas por año. Por otra parte, también se ha determinado que aproximadamente 60% del nevado está con riesgo inminente de desaparecer en el tiempo, en caso de continuar las condiciones de cambios climáticos y acciones antrópicas actuales.

Para los bofedales, aún no hay una evidencia clara de estar siendo afectada por el retroceso del glacial, dado que los habitantes, retienen mucha agua para la irrigación de los bofedales, en desmedro de reducir drásticamente los caudales de los ríos de las subcuencas aguas abajo, con el riesgo inminente de dejar desprovistos de este líquido elemento a las poblaciones circundantes. Como consecuencia de esta última aseveración, tenemos que los caudales en algunas subcuencas llegan a ser nulas en periodo de estiaje, por periodos de hasta dos meses, factor que tiende a agravarse aún más en el tiempo.

Finalmente, una vez más se pone en evidencia la utilidad de la teledetección y los SIG, a estos fines investigativos.

PALABRAS CLAVES:

GLACIARES, RETROCESO, TELEDETECCION, ANDES, BOLIVIA

(1)Universidad Mayor de San Andrés, Av. Arce 2295 La Paz Bolivia, Email: joselo7191@gmail.com

INTRODUCCION.

La cuenca del nevado Chachacomani, se encuentra en el Departamento de La Paz - Bolivia, Provincia Los Andes, Municipio de Batallas., cubriendo un área total de 336.34 Km² (divididos en seis sub cuencas), formando parte de la Cordillera Oriental de Los Andes Sudamericanos. (Ver mapa 0).

El objetivo general planteado en el proyecto es: “Mejorar la información sobre el estado del nevado Chachacomani mediante el uso de imágenes satelitales, verificar si los cambios climáticos globales están afectando al espejo del nevado, para de esta tener insumos para la aplicación de modelos de gestión territorial, y la provisión de agua dulce al sector”.

Este objetivo visto así, está orientado principalmente a aplicaciones en el campo de la Tecnología Espacial, que se manifiesta a través de la amplia y variada gama de imágenes satelitales con que se cuenta en la actualidad; así también con los complejos y eficientes algoritmos de procesamiento digital de imágenes, que permiten modelar la dinámica de los ecosistemas naturales, como en este caso de los nevados. La Percepción Remota y los Sistemas de Información Geográfica, constituyen tecnologías ágiles y de bajo costo, puestas a disposición de la sociedad científica.

Esta investigación, propone la incorporación de los datos que aporta la tecnología espacial de imágenes ópticas principalmente, relacionados al estudio y monitoreo de los recursos naturales de las áreas de alta montaña en Los Andes (nevados y bofedales principalmente).

La determinación y cuantificación de los mantos de nieve en las altas montañas de los Andes con imágenes satelitales, y su posterior impacto correspondiente en la predicción de caudales en las cuencas circundantes, permitirán monitorear las fluctuaciones de los caudales hídricos, de modo tal que se puedan determinar medidas para la preservación y aprovechamiento de este recurso, previsto para una segunda fase de esta investigación.

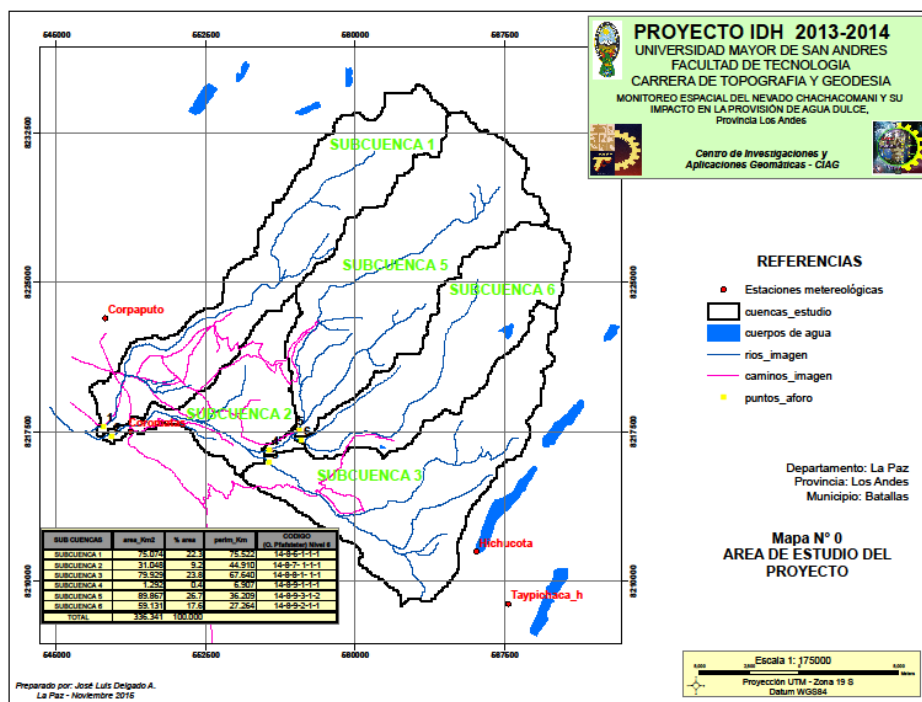
La identificación y monitoreo de los glaciares y humedales (bofedales) alto andinos, permitirá posteriormente determinar las cantidades de agua que alimentan la fauna y flora de esas zonas cercanas a los glaciares, y principalmente a las actividades propias de los humanos.

En este sentido las preguntas que planteamos y pretendemos responder en esta investigación son las siguientes:

1. ¿Cuál es el estado y la evolución del glaciar Chachacomani en el tiempo, periodo 1986 - 2014?
2. ¿Cuál es el estado de los bofedales para el mismo periodo de tiempo?
3. ¿Cuál es el caudal que sale de las cuencas atribuibles al deshielo?
4. ¿Cuál el riesgo inminente de deshielo del nevado en cuestión?

La respuesta científica a estas preguntas, ayudara a la sentida necesidad del recurso agua no solo de las comunidades próximas al glaciar, sino para futuras proyecciones que satisfagan la demanda creciente de este líquido elemento, cuya sostenibilidad es muy incierta debido al cambio climático y la desmedida intervención antrópica, siendo este un problema que requiere de mucha atención para la seguridad de los habitantes de la región. Por otra parte, no hay que dejar de lado la consideración que los glaciales, son la fuente y la reserva más importante que tiene el hombre de agua dulce.

Ya no es motivo de discusión hoy en día la utilidad de la teledetección como tecnología para este tipo de investigaciones, añadido el hecho de poder contar con imágenes históricas y actuales de muchos sensores de manera gratuita en la web, hace mucho más interesante aún el empleo de esta tecnología, para el estudio de la dinámica multitemporal como el planteado en este estudio, monitorear el nevado y los bofedales en las cuencas estudiadas.



Para el presente estudio, heremos uso de imágenes del sensor LANDSAT TM5, 7 y 8, dadas las características de resoluciones de los mismos que nos permite trabajar en escalas reales de 1:100000, muy adecuada a esta investigación por una parte, por otra su resolución espectral, que nos permite hacer una muy buena discriminación de las áreas cubiertas con nieve, por el hecho de tener bandas en el visible (de alta reflectancia para la nieve), y las del infrarrojo cercano (baja reflectancia para la nieve). Similar situación encontraremos para la detección de los bofedales, caracterizado por la presencia masiva de vegetación y humedad, con un comportamiento contrario a los nevados (baja reflectancia en el visible y alta en el infrarrojo cercano).

La topografía es la base física que se ha utilizado para las delimitaciones de las cuencas de estudio, así como también para la extracción de la red hidrográfica presente en la cuenca de estudio; así mismo, es importante resaltar que dada la resolución espacial de este MNA de 30 m

de tamaño de pixel, le corresponde una escala de trabajo de aproximadamente 100000. En el mapa 1, podemos apreciar que las altitudes que corresponden a las cuencas mismas de estudio, oscilan entre los 3900 a 5800 metros sobre el nivel del mar, teniendo un rango de altitud de 1900 metros, que hace a cuencas altas de la cordillera de los andes orientales.

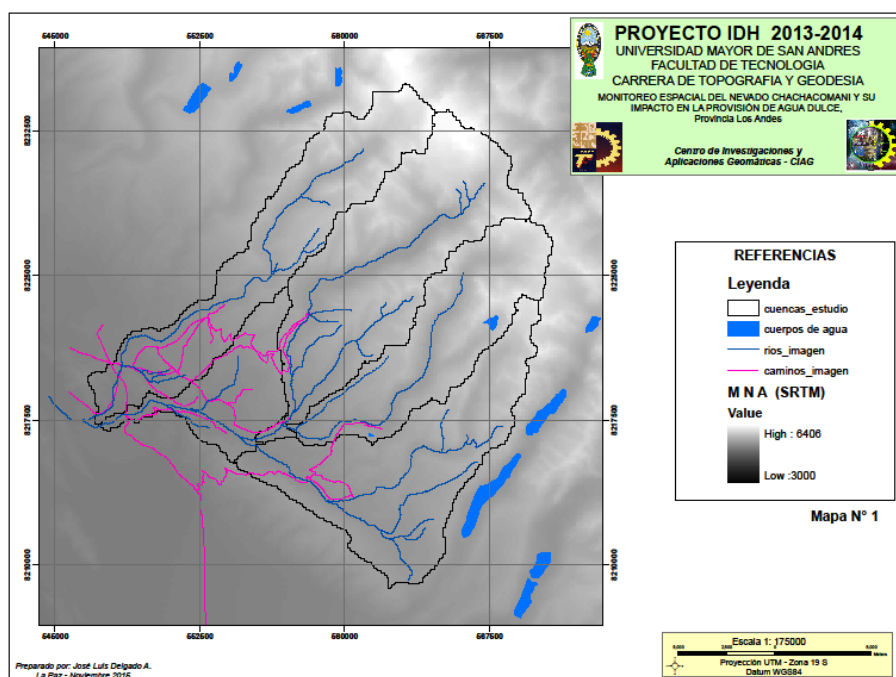
Con relación al clima, para determinar la temperatura media anual, se ha logrado obtener información climática de cuatro estaciones meteorológicas, adicionalmente a este estudio, y dado que el objetivo para este estudio es la de determinar una ecuación que explique la distribución de la temperatura media anual en función de la altitud, hemos recurrido a muchos otros datos más de estaciones que se encuentran en La Paz, próximos a la zona de estudio, y con estos datos se ha logrado determinar esta ecuación y construir la cobertura y mapa en continuo de este parámetro climático.

La temperatura, es un parámetro climático altamente correlacionado con la altitud de un espacio territorial, se estima a nivel global que entre 5 a 10 grados de la temperatura media disminuye por cada 1000 metros de altitud que se sube (inversamente proporcional).

Para el caso que nos atañe del Departamento de la Paz, se ha hecho una recopilación de datos meteorológicos de 39 estaciones, distribuidas en toda la zona de estudio y sus alrededores (periodo analizado años 1996 – 2012)

En la figura 1, podemos ver la correlación existente entre los datos de las estaciones analizadas versus la altitud ($R^2=0.9498$) y la ecuación respectiva, que explica la variabilidad de la temperatura en función a la altitud del terreno, De la cual se estima que la altitud para la temperatura media anual de 0 °C, corresponde a la altitud de 5490 msnm. Este último dato es importante, puesto a que se estima que por encima de esta temperatura de congelación, se demarca las zonas de nevados eternos.

Integrando esta ecuación con el MNA para la zona de estudio, se llegó a determinar una cobertura en continuo para la temperatura media anual.



En cuanto a la precipitación, la zona cuenta con un rango medio de 450 mm/año, distribuido mayoritariamente en 4 meses (diciembre – marzo); relacionando estos datos en un balance hídrico, la zona cuenta con periodo agrícola de 3 a 4 meses.

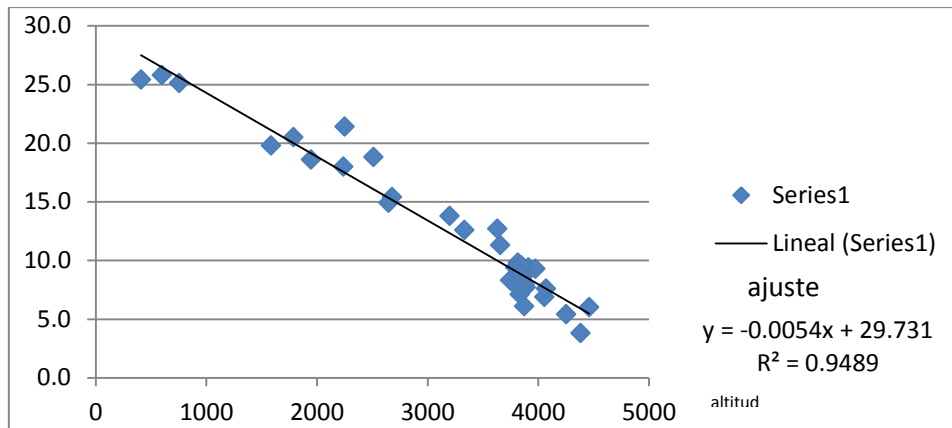
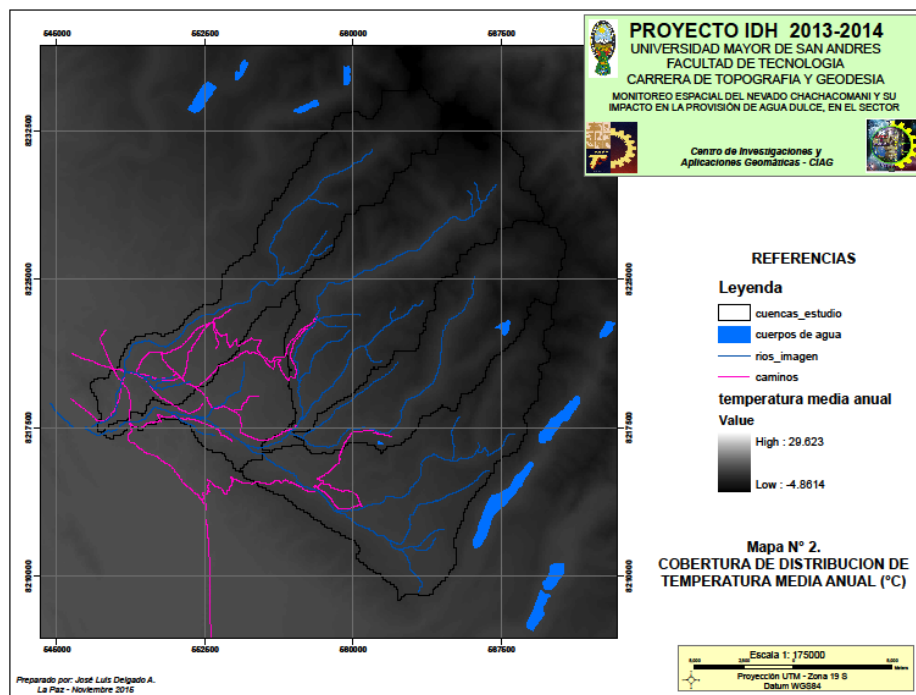


Figura 1. Ajuste de datos de temperatura media anual en función de la altitud del terreno (Fuente: elaboración propia en base a datos del SENAMHI, 2015)



La zona de estudio por las condiciones climáticas, tiene una densidad poblacional muy baja, siendo una de las actividades primarias de sus habitantes, el pastoreo extensivo de ganado camélido en los amplios bofedales que cuentan, y en menor relación la agricultura andina.

Precisamente, al tener el pastoreo como actividad primaria, estos hacen un cierto uso y manejo de agua en el periodo de estiaje, desviando el agua en las partes altas, de tal manera que sus bofedales permanezcan irrigados todo el año, factor que determina que algunas sub cuencas, en ciertos periodos del año tengan caudales nulos en sus desembocaduras, dejando desprovistos de este líquido elemento a las poblaciones ubicadas aguas debajo de las cuencas.

Sin lugar a duda, los resultados de esta investigación, serán de mucha utilidad a las propuestas de ordenamiento territorial que se pretende desarrollar en la región.

MATERIALES Y METODOS.

Materiales:

- Imágenes Landsat TM5, 7 y 8, del periodo 1986 – 2014, bajo el siguiente detalle (ver tabla 1), Bajadas del servidor del INPE (Brasil)
- Software, ERDAS IMAGINE V. 9.2, ARCGIS V. 9.3
- Molinetes OT50
- Ordenador PC I7, impresora HP 4200
- Libretas de campo, cámara fotográfica
- Vehículo 4X4.

M E S E S												
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1985				14	24							
1986					19		14					
1987												
1988				30								26
1989		11					30			10		
1990								10				
1991												
1992							14				3	
1993	6							2				
1994												
1995						5				27		
1996				20		7					14	
1997							12				1	
1998							15				20	
1999	23											
2000					1			5			9	
2001												
2002												
2003					2	27						20
2004				26								6
2005												
2006							21		23		26	
2007	29											
2008								27	28			
2009	2		7									12
2010				11		14					5	
2011			13									
2012												
2013	21			19	21		24		26		13	
2014		17			8							
		16										
		5										
		32										
		53										

16 no utilizadas
 5 utilizadas con dudas
 32 utilizadas
 53 total

Tabla 1. Relación de imágenes satelitales LANDSAT TM, utilizadas en la investigación. (Fuente: propio)

Métodos:

Metodológicamente, se ha trabajado de la siguiente manera:

- A partir de un MNA (SRTM), se hace la delimitación de la cuenca y sub cuencas del nevado Chachacomani; así como sub productos como coberturas de pendiente.
- Con datos del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI), se determina la ecuación que explica la variación de la temperatura media anual en función a la altitud, y mediante una operación de álgebra de mapas, se obtiene la cobertura en continuo de la temperatura media anual de la zona de estudio.
- En base al mapa de sub cuencas, se determina los puntos de aforo de los ríos de las sub cuencas con una frecuencia de una cada mes.
- Se determina la escena de la zona de estudio, que corresponde a la imagen 001/071 (path/row), procediéndose a solicitarlas al servidor del INPE (www.inpe.br) y del como del USGS de los Estados Unidos, lográndose obtener todas las escenas que se muestran en la Tabla1.
- Se hace una rectificación geométrica de todas las imágenes tratadas, de tal forma a eliminar desplazamientos geométricos entre las mismas.
- Se obtienen sub escenas de éstas, de tal manera de tener las imágenes solo de la zona de estudio.
- Con las imágenes así puestas en forma, se ha trabajado por una parte en la búsqueda de una relación matemática para la identificación de los nevados, y otra para los bofedales (humedales).
- Para los nevados:
 - Para la identificación de los nevados, se ha recurrido a un índice denominado NDSI, que como podemos apreciar en la Figura 2 de la firma espectral de un nevado, existe un diferencial de reflectancia entre la banda 5 y 2 de LANDSAT (IRc y Verde del visible), este delta de reflectancia según varios estudios ya desarrollados, es atribuido a la presencia de la nieve, habiéndose definido un índice NDSI bajo la siguiente relación matemática $NDSI = (V-IRc)$, y para normalizar este índice, ese producto se divide entre la suma de $(V+IRc)$, en síntesis $NDSI=(B2-B5)/(B2+B5)$ PARA LANDSAT, consiguientemente, los valores de este índice son valores comprendidos entre -1 a +1, donde los valores cercanos a +1 corresponden a áreas cubiertas por nieve.
 - El siguiente trabajo fue el de determinar un umbral de este índice que marque lo más precisamente el quiebre entre un área con nieve con otro sin nieve, de las muchas pruebas y verificaciones en campo, se determinó que el umbral para este índice debería corresponder a un valor de 0.48; consiguientemente, en el desarrollo del algoritmo del modelo para la discriminación de áreas cubiertas con nieve de áreas sin nieve, se ha usado ese umbral (ver modelo desarrollado con ERDAS IMAGINE (Ver figura 2)

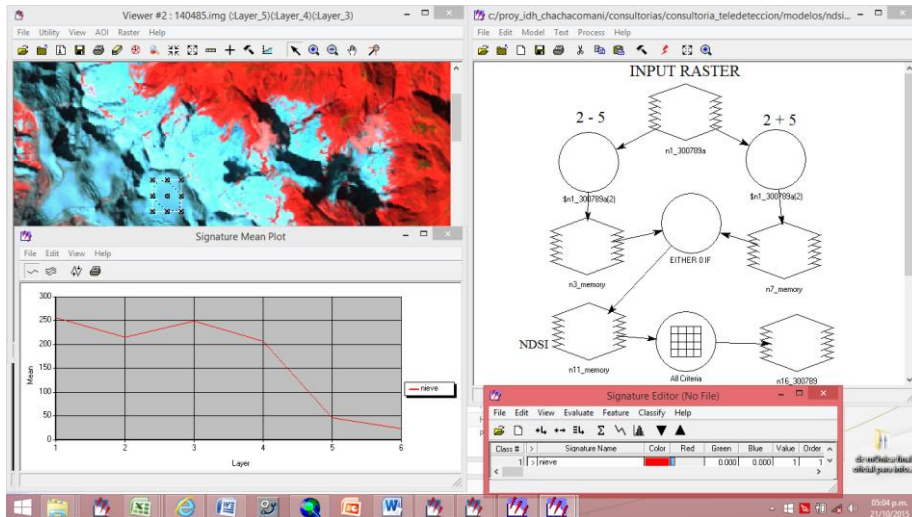


Figura 2. Muestra la zona de una imagen cubierta con nieve, por debajo su firma espectral, y a la derecha el modelo desarrollado (Fuente: propio).

- Para los bofedales:
 - Para los bofedales, una tarea similar se ha desarrollado, siendo en este caso que se utilizó como índice determinativo el NDVI (índice de vegetación normalizado), que responde al modelo matemático de $NDVI = (IRc - R) / (IRc + R)$, $NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$, DE LANDSAT, donde como todo índice normalizado, los valores están entre -1 a +1, siendo que los valores cercanos a +1 representan vegetación, y los cercanos a -1 ausencia de vegetación.
 - En la siguiente figura (Ver figura 3), se puede apreciar la delimitación de un área de muestreo de bofedal, su firma espectral y el modelo desarrollado a este fin
 - Al igual que el caso anterior, también se buscó el umbral de quiebre entre lo que significa presencia y ausencia de bofedal, que después de muchas pruebas, este se determinó en el valor de 0.31, vale decir que de 0.31 adelante es bofedal y hacia abajo es no bofedal
- Como resultados del mismo, se ha aplicado este modelo a todas las imágenes, obteniéndose para cada una de ellas las imágenes binarias, para su posterior tratamiento, análisis comparativos y estadísticos.

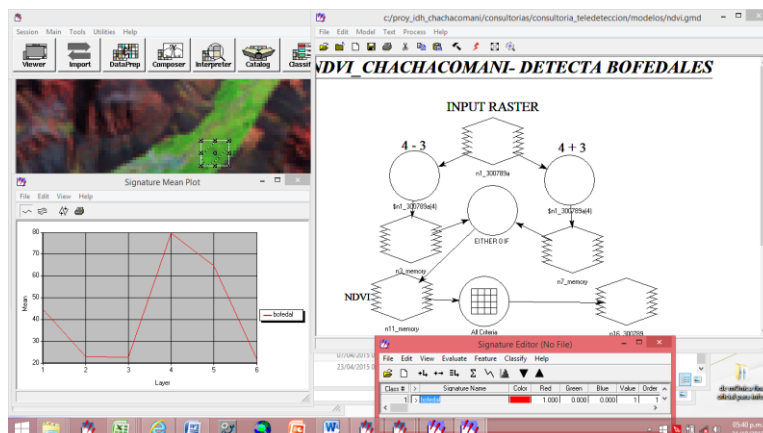
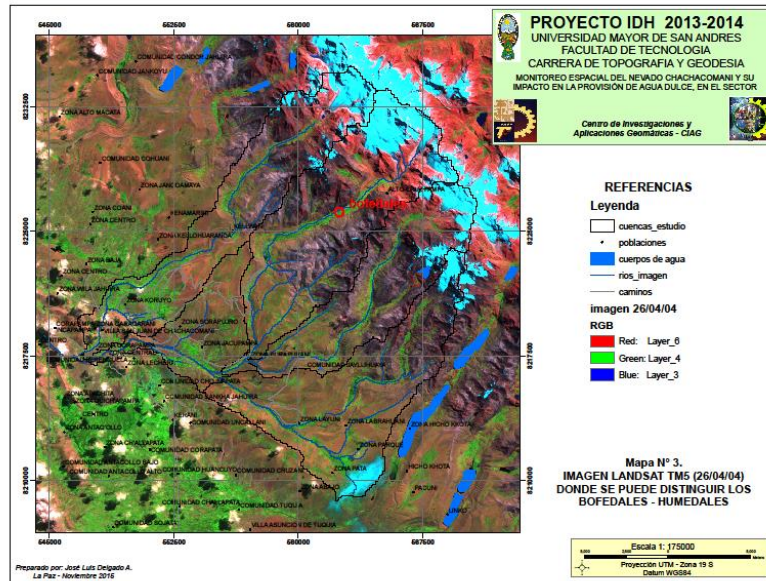


Figura 3. Muestra una imagen con un muestreo de bofedal, la firma espectral y el modelo desarrollado a este fin. (Fuente: propio)



RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son:

Monitoreo del glacial:

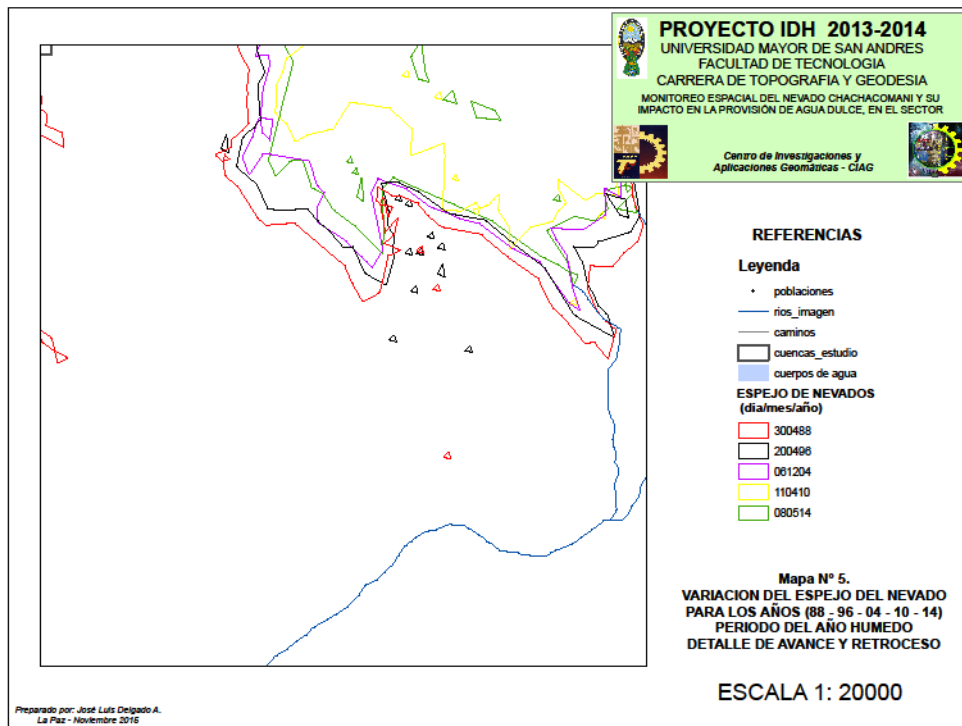
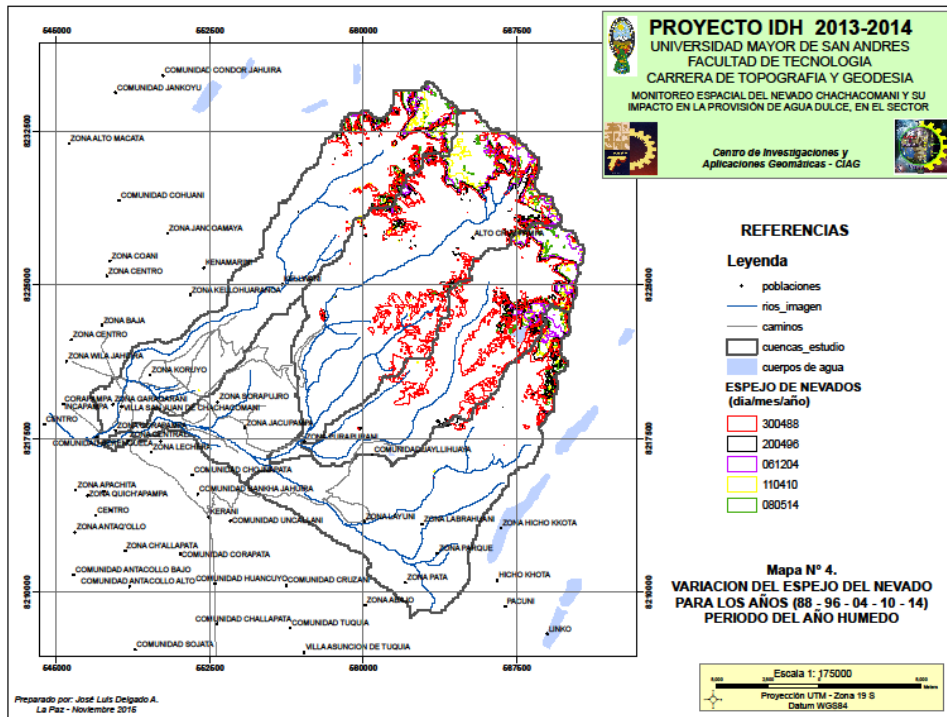
En el mapa 3, podremos apreciar una vista general del área de estudio sobre una imagen satelital, donde se puede distinguir muy claramente los nevados y los bofedales.

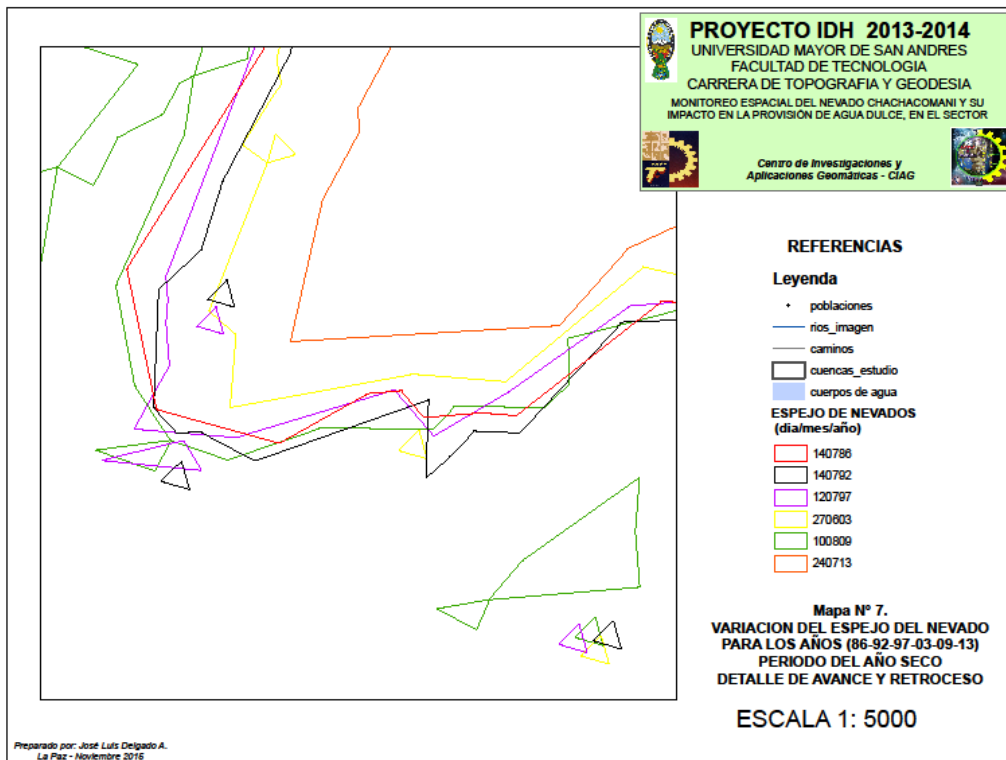
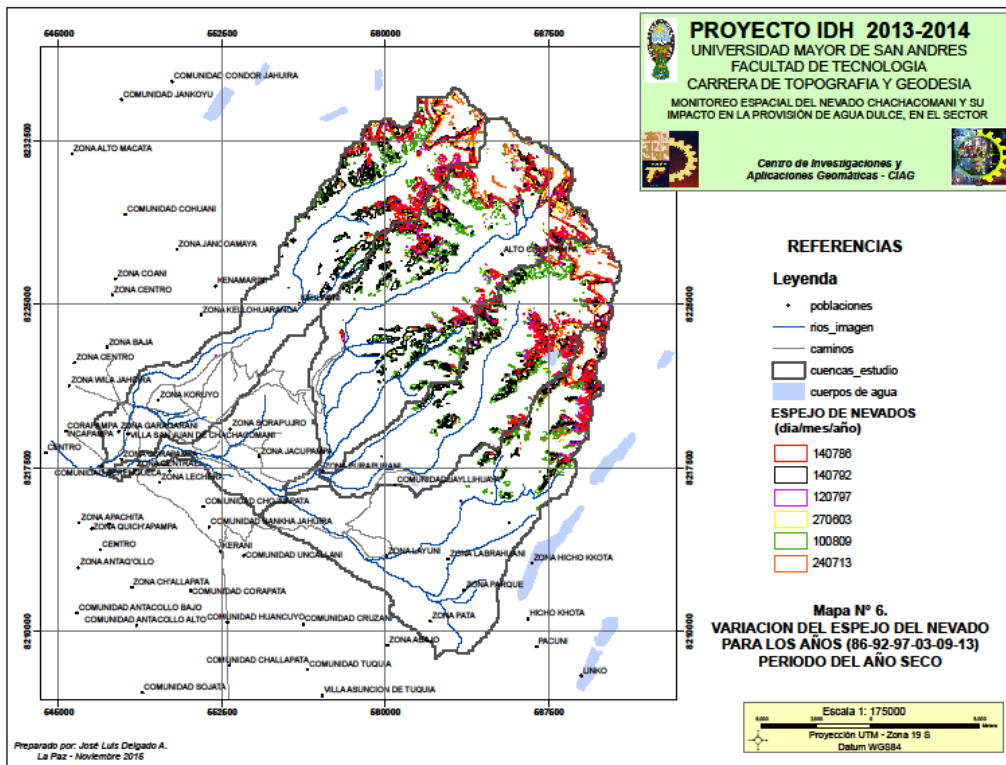
Dado que la variabilidad estacional entre periodo húmedo y periodo seco (vamos a considerar el periodo húmedo los meses comprendidos entre diciembre – abril, y el periodo seco de mayo – noviembre), condiciona la movilidad de la masa de nieve dos tipos de análisis vamos a realizar.

Para el periodo húmedo (ver mapas 4 y 5), tenemos la variabilidad del espejo de nieve para los años 1988 – 1996 – 2004 – 2010 y 2014, donde vamos a poder apreciar de manera clara el retroceso y avance del espejo del nevado.

Del análisis de estos mapas, tenemos que en las zonas de menores pendiente entre los años 1988 al 2010, que es año que muestra el mayor retroceso del glacial, hay una distancia de retroceso de aproximadamente 800 metros, y en la zonas de mayores pendientes de tan solo un par de centenas de metros, y para el año 2014, vemos una recuperación del glacial, reduciendo este retroceso a una centena de metros.

Para el periodo seco (Ver mapas 6 y 7), en estos mapas vamos a poder apreciar que el avance y retroceso para el periodo seco (frio), el avance y/o retroceso del glacial es mucho menor que en el periodo húmedo (este oscila en las partes planas distancias menores a 200 metros), y en la zonas de mayores pendientes, pues esta oscilación es mucho menor aún.





La gráfica de la figura 4, nos muestra de tendencia de retroceso y/o avance del espejo del nevado para la cuenca Chachacomani.

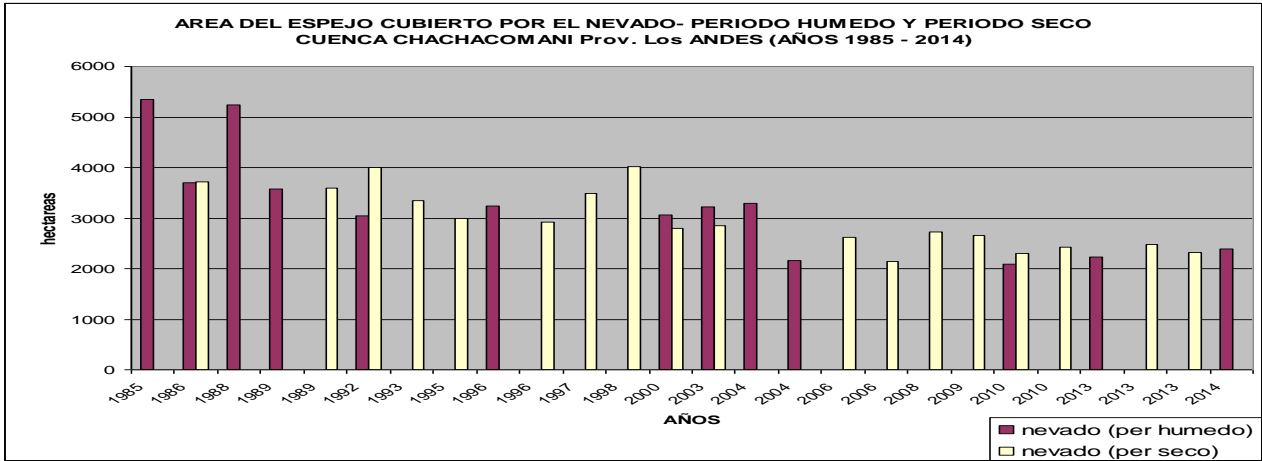


Figura 4. Área del espejo del nevado de la cuenca Chachacomani periodo 1985 – 2014), (Fuente: Elaboración propia)

En esta última figura concordante con lo que se muestra en los mapas 4 al 7, se denota la marcada tendencia de retroceso del nevado, muy marcado para el periodo 1985 - 1994, y sin mayores variaciones del 1994 al 2014. Por otra parte, hay que remarcar también en esta figura, que el área tiende a ser ligeramente menor en el periodo húmedo.

Para relacionar estos datos de la disminución del área de espejo del nevado Chachacomani, relacionaremos estos con datos climáticos de la zona, Para eso tomaremos como referencia la Estación Meteorológica de Hichucota, como la más representativa de la zona de estudio (Ver figura 5).

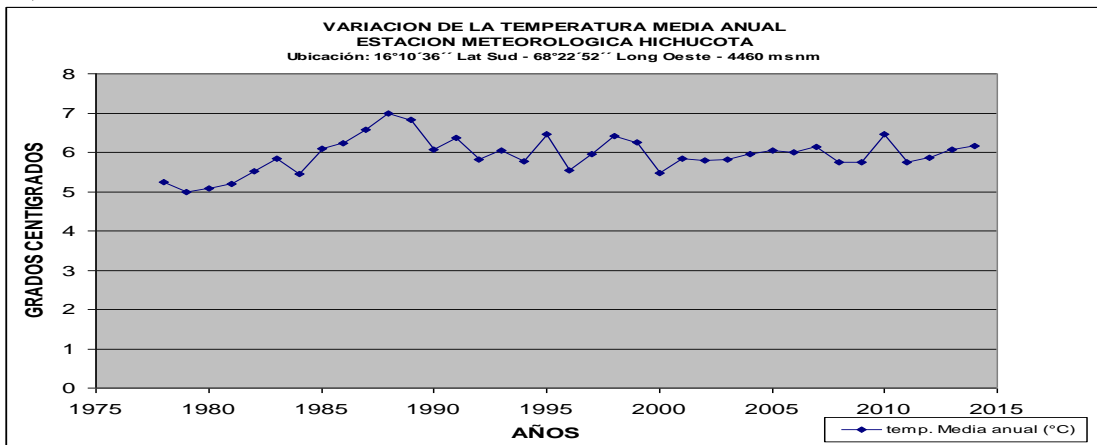


Figura 5. Temperaturas media anual para la estación Hichucota (Fuente: Elaboración propia, en base a datos del SENAMHI 2015).

En esta figura que tiene el registro de la temperatura media anual (°C), se nota de manera muy marcada que del año 1978 al 1990 aproximadamente, existe un ascenso de la temperatura de cerca a los 2 °C, que coincidentemente va también muy correlacionada con el retroceso del glaciar para ese periodo aproximado, ya del año 1992 adelante, la temperatura se hace más estable, que también está muy bien correlacionada con la estabilización del espejo del nevado.

Monitoreo de los bofedales:

Similar situación que para los nevados, se ha ejecutado para los bofedales, teniéndolos siguientes resultados: (Ver figura 6).

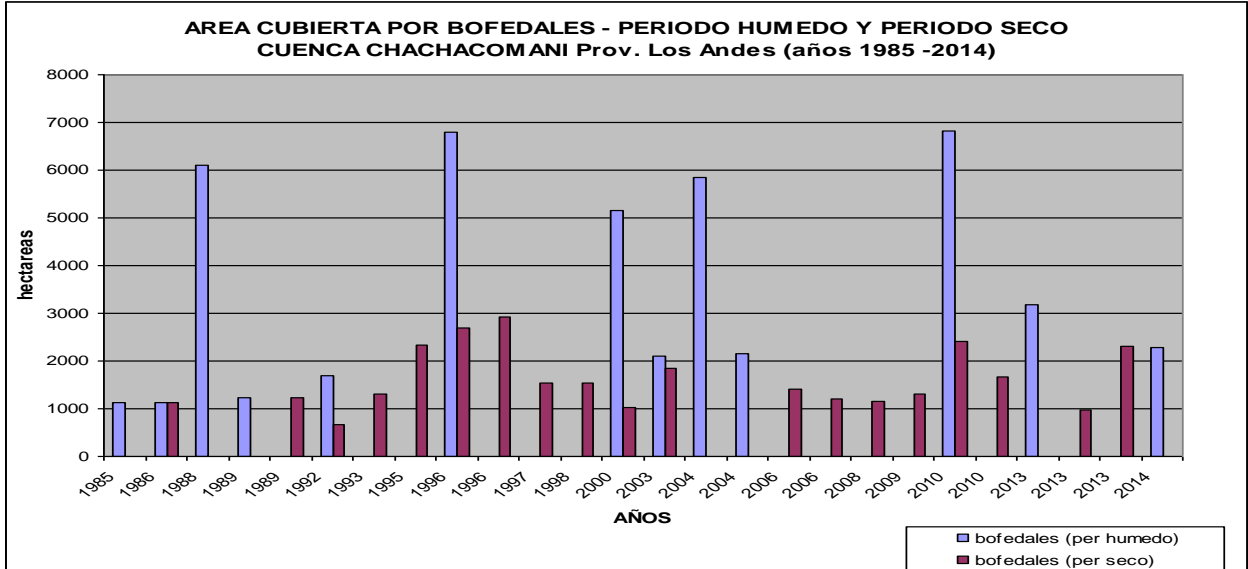


Figura 6. Relación de áreas del espejo de los bofedales para el área de estudio, discriminado en periodo seco y húmedo. (Fuente: Elaboración propia)

Caudales de agua que salen de las cuencas:

Definidas las subcuencas y los puntos de aforo, se procedió a establecer un cronograma de aforos en los mismos (dos veces al mes). Los resultados obtenidos para esta variable son las siguientes: (Ver Figura 7).

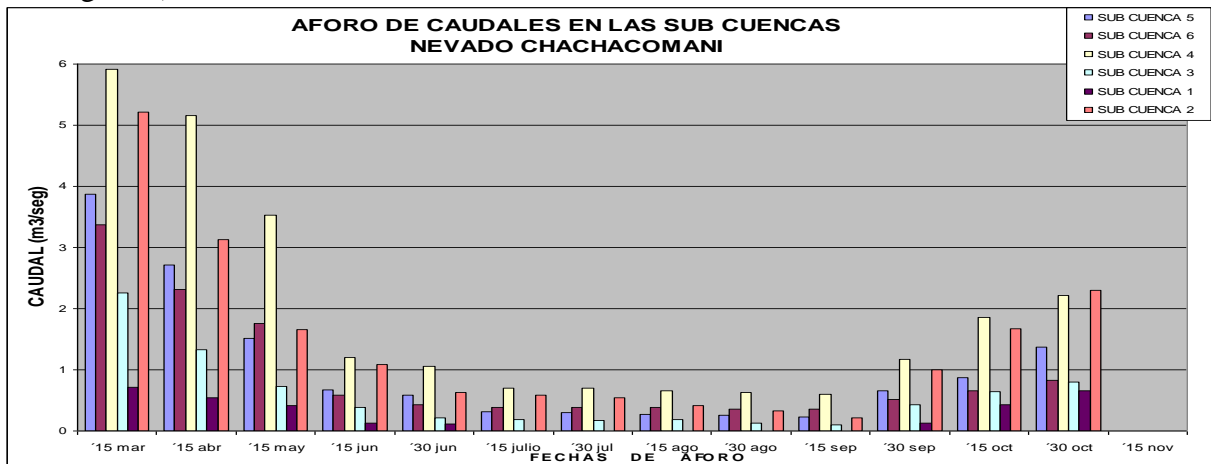


Figura 7. Caudales aforados en las seis sub cuencas del Nevado Chachacomani (Fuente: Propio)
Del análisis de los datos que se presentan en esta última figura, podemos determinar lo siguiente:

- Existe una drástica disminución de los caudales de los ríos de las seis subcuencas, entre los meses comprendidos de junio a septiembre (periodo seco).

- Esta deficiencia de caudales, por un lado va en detrimento de los bofedales, que son las áreas de pastoreo de ganado por excelencia.
- Estas deficiencias de agua, también es un factor negativo en todas las demás actividades de las comunidades que habitan la región.
- Veamos que el río de la sub cuenca 1, los meses de julio a septiembre, prácticamente está seco, y eso repercute negativamente en las actividades de las comunidades.
- Por otra parte, hay que remarcar que estas poblaciones, no cuentan en la actualidad con servicios de agua potable, y en la mayoría de los casos, estas hacen uso del agua de los ríos para su consumo.
- Muy a la ligera, se ha observado que estas aguas de los ríos, son peligrosas para el consumo humano, ya que se nota que están son aguas contaminadas, no aptas para consumo humano.
- El aprovechamiento de estas aguas, es casi nulo, ya que estos caudales de agua que se muestran en la figura 7, terminan siendo vertidos a una cause mayor (Río KEKA), y posteriormente al lago Titicaca.
- De las charlas con los comunarios, estos manifiestan un marcado interés por aprovechar estas agua, principalmente para satisfacer las necesidades básicas, así como también para su uso en sistemas de riego.
- Se considera que entre los meses de mayo a septiembre, los caudales de agua mensurados en los diferentes ríos, provienen casi exclusivamente del derretimiento de los nevados, donde en el balance vamos a tener que una parte se queda dentro las sub cuencas en los bofedales principalmente, y otra cantidad sale como caudal de las mismas. Estimar en qué relación porcentual de esta agua es que se queda y sale de la cuenca, implicaría desarrollar muchos más estudios y sobre todo tiempos mayores (5 a 6 años), cosa que está fuera de los alcances del presente proyecto.

Riesgo de deshielo del nevado:

Si tomamos como parámetro medio que el espejo de los nevados ocupa un área de 2500 hectáreas, tenemos que de estas por encima de la altura de temperatura de congelamiento (5500 msnm), se tiene 1002 hectáreas (40% aproximadamente), que estaría sin ningún riesgo de deshielo. Del restante 60%, se estima una muy leve tendencia al deshielo, tal como se lo puede ver en la figura 4. Un factor importante que contribuye a la poca afectación de deshielo, es la poca actividad antrópica que existe en la región.

CONCLUSIONES.

Como conclusiones generales de la presente investigación mencionamos lo siguiente:

- Se ha puesto en evidencia la gran utilidad de las imágenes satelitales y los Sistemas de Información Geográfica a los fines consiguientes de esta investigación.
- Se ha logrado determinar temporalmente (periodo 1986-2014), el estado de avance y/o retroceso del glaciar de la cuenca del nevado Chachacomani, observándose en este una disminución aproximada de 1000 hectáreas en los 28 años del periodo estudiado (aproximadamente 36 ha/año).
- Tomando en cuenta que a partir de la altitud determinada con temperatura de congelación (0 °C), aproximadamente el 60% del nevado, está en inminente riesgo de deshielo.
- En cuanto al monitoreo de los bofedales, no hay una tendencia marcada hacia ningún lado, siendo que el aumento o disminución de las áreas de bofedales, está ligado más a

las variaciones estacionales de los periodos húmedos y secos, así como también a los años lluviosos y menos lluviosos.

- En cuanto a los caudales de agua en las salidas de las cuencas, se nota que existe una gran disminución de los mismos en los periodos de estiaje, con grandes riesgos a la seca de los ríos, poniendo en riesgo la provisión de este líquido elemento a los pobladores aguas debajo de las cuencas.
- Finalmente, el riesgo de deshielo de los nevados es inminente, si bien se ha estimado una tasa de deshielo de aproximadamente 36 ha/año, este puede incrementarse debido a los cambios climáticos; también se ha determinado que un 60% de este nevado, se encuentra en alto riesgo, y un 40% con riesgo menor.

AGRADECIMIENTOS.

Nuestros agradecimientos a todos quienes apoyaron la presente investigación, entre los que hacemos mención especial:

- Al Sr. Decano Lic. Rafael Onofre M, Vicedecano Ing. M.Sc. Víctor H. Herrera Q., al Señor Director de la Carrera de Topografía y Geodesia Ing. Vitaliano Miranda A; por toda la colaboración y facilitación administrativa que conllevó la realización de la presente investigación.
- A los Licenciados: Richard Salazar, Juan Luis Chiri y Julio Pacosaca, y la Ing. Natalia Palacios, que colaboraron efectivamente en los trabajos de campo.
- A los auxiliares estudiantes de Investigación Mamani Q. y Roxana Pérez, por su colaboración en trabajos de campo.
- A las autoridades originarias de las comunidades de Chachacomani, por acompañar en los trabajos de campo.
- Finalmente, a los fondos concursable IDH, quienes financiaron la presente investigación.

BIBLIOGRAFIA

Guillen, J. J.; Santiago, J. A. y Soria, M. V. 2004. Estudio multitemporal del retroceso glaciar a través de imágenes de sensores remotos y SIG en la Sierra Nevada del Cocuy, Cordillera Oriental de Colombia para el periodo 1960-2003. Bogotá, D.C.: Graduate Dissertation, Universidad Distrital Francisco José de Caldas-IGAC

Martín Vilela 2012, Retrocesos de glaciales tropicales en Bolivia, problemática y desafíos, fundación agua sustentable, in glaciares andinos – recursos hídricos y cambios climáticos

Morales-Arno, Benjamín, Glaciers of South America -- Glaciers of Perú, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1386-I-4

Movimiento Ciudadano Frente al Cambio Climático, disponible en: <http://www.mocicc.org>