

EL GLACIAR DE CHACALTAYA (BOLIVIA): TENDENCIAS DEL BALANCE DE MASA Y RETROCESO MEDIDO DESDE 1940

Edson Ramírez, Instituto de Hidráulica e Hidrología
(IHH-UMSA) CP-699 La Paz, Bolivia

Bernard Francou, Misión ORSTOM, CP 9214 La Paz, Bolivia

RESUMEN

Las regiones tropicales y subtropicales, al tener un régimen climático diferente al de las regiones de altas latitudes, hacen que la respuesta de los glaciares tenga características muy particulares que difieren de los glaciares de altas latitudes y cuyos estudios no son muy comunes aun.

Una de las características principales es que los períodos de acumulación, prácticamente coinciden con los períodos de mayor radiación solar, propicios para el proceso de ablación. Se ha tomado como elemento de estudio al Glaciar de Chacaltaya en Bolivia, por ser este un glaciar de pequeña superficie cuyo retroceso se ve muy acentuado en los últimos tiempos a consecuencia de los cambios climáticos.

1. MARCO GEOGRAFICO

El glaciar de Chacaltaya tiene una posición muy característica lo que hace que su estudio se convierta aun más interesante (Fig.1). Se encuentra sobre la Cordillera Real al NE del altiplano boliviano la cual presenta la particularidad de conformarse en un límite natural entre la Amazonía y el Altiplano boliviano (Ramírez et.al,1995). Se encuentra a su vez en la cabecera de la cuenca de La Paz que es precisamente donde se encuentra ubicada la ciudad de La Paz.

Tiene una superficie aproximada de 0.1 Km² con una extensión de 632 m de largo por 252 m en su ancho mayor.

Se ha estimado la altura máxima del glaciar a 5345 msnm y la altura más baja (frente del glaciar) a 5075 m.

Por su fácil acceso y el tamaño del mismo, se convierte en un glaciar modelo para apreciar los rápidos cambios que se producen en el a consecuencia de los cambios climáticos en particular por los cambios en la temperatura.

REGIMEN DE PRECIPITACIONES

A través de estudios realizados en la región (Mendoza,1994;Ramírez,1995), se ha observado que la principal fuente de humedad que provocan las precipitaciones en la zona proviene de las masas húmedas que llegan desde la Amazonía.

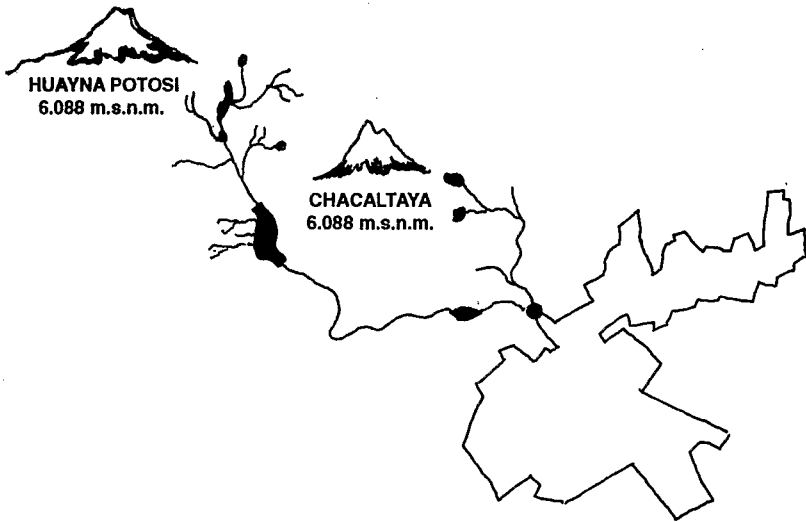


Fig.1 Ubicación del Glaciar de Chacaltaya

A nivel anual, se considera que el año hidrológico comienza en octubre y concluye en septiembre. En esta región se ha determinado que los valores de precipitación detrás de la cordillera (Amazonía) aumentan a medida que se incrementa la altitud (Ribstein et.al,1993) y una vez que atraviesa la cordillera estos valores van disminuyendo a medida que se baja en altitud.

Se estima un valor promedio anual de precipitación de 700 mm cercano al glaciar de Chacaltaya. Este valor es aproximado ya que las medidas de precipitación en altura se van dificultando a consecuencia de la presencia de nieve y excesivo viento.

A nivel mensual se ha encontrado que la distribución de las precipitaciones responde a características de tipo estacional, donde los mayores valores se presentan durante el verano (diciembre, enero, febrero y marzo) con un aporte del 67% de la precipitación total anual y las precipitaciones mas bajas se presentan durante el invierno (mayo, junio, julio y agosto), con un aporte de aproximadamente 8% de la precipitación total anual,tal como se observa en el figura No.2.

REGIMEN DE TEMPERATURAS

Si bien en la actualidad no existe una estación bien definida sobre el glaciar en la cual se hayan registrado períodos largos de observación de temperaturas, existe información con la que cuenta el Observatorio de Física Cósmica ubicado cerca al glaciar cuyos datos se encuentran en etapa de procesamiento (digitalización de bandas termográficas).

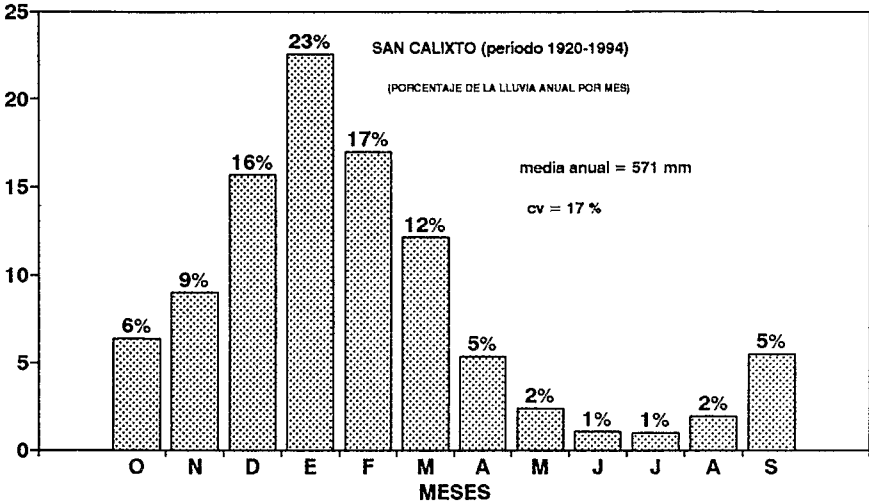


Fig.2 Distribución mensual de la lluvia en la ciudad de La Paz

Sin embargo de acuerdo a registros del Observatorio de San Calixto en la ciudad de La Paz, se tienen valores promedio de temperatura de 10.7°C (Segaliné y Cabré,1988).

ELECCION DEL GLACIAR DE ESTUDIO

Chacaltaya, como se indicó anteriormente, al constituirse en un glaciar subtropical presenta características diferentes respecto a los glaciares de las regiones de altas latitudes, ya que tiene la característica de que el período de acumulación practicamente coincide con la época de mas alta radiación solar incidente sobre la superficie terrestre que se presenta durante el verano.

Al no existir suficientes estudios al respecto, surge la necesidad de estudiar los glaciares subtropicales.

En Bolivia se eligieron para tal efecto dos glaciares: El glaciar Zongo sobre el nevado Huayna Potosí y el glaciar de Chacaltaya. El primero por considerarse un glaciar de mayor magnitud y el segundo por ser un glaciar pequeño susceptible a cambios notorios y a una eminente desaparición del mismo.

El monitoreo de éste glaciar se inicia a través de un estudio de inventariación de glaciares (Jordan,1990) para luego continuar con monitoreo más específico a partir del año 1991 hasta la actualidad.

RESULTADOS OBTENIDOS

Balance de Masa.

Para la determinación del balance de masa, se dispuso un grupo de balizas a lo largo de lado Este del glaciar (Fig.3), eligiéndose este sector ya que el lado oeste

o lado izquierdo del glaciar forma parte de la pista de ski del mismo, lo que dificulta las mediciones respectivas.

Las balizas utilizadas constan de un juego de 5 estacas de 2m de longitud cada una lo que hace un total de 10m por baliza. Se utilizó así mismo una sonda a vapor que permite realizar la perforación sobre el hielo para introducir dichas balizas.

A través de la medición de la emergencia de cada baliza (longitud desde el extremo superior de la baliza a la superficie de nieve o hielo) fue posible la cuantificación del espesor de capa de hielo que se pierde o gana en el sector (ablación o acumulación).

Estas mediciones, a diferencia de las mediciones convencionales que se realizan una vez al año, en el glaciar de Chacaltaya, son realizadas cada mes, lo que permite poder obtener balances de masa mensuales.

El procedimiento utilizado para la determinación del balance, fue el de trazar curvas de nivel del glaciar y dividir la superficie del mismo a intervalos de 50m (Fig. 3).

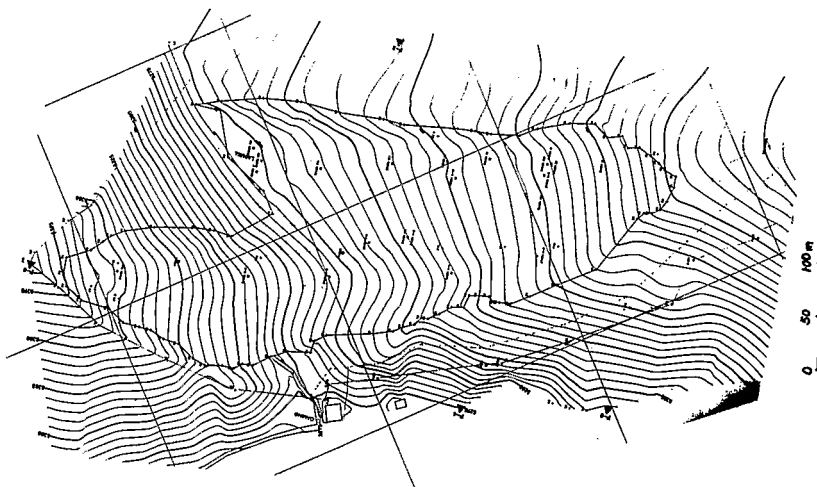


Fig. 3 Ubicación de balizas sobre Chacaltaya y división por rangos de altitud.

Por lo tanto, se obtuvo un balance promedio de las balizas ubicadas en cada intervalo permitiendo de esta manera conocer el comportamiento del glaciar a diferentes niveles o rangos de altitud.

Los resultados obtenidos desde el año 1991 a 1995 para los diferentes rangos de altitud se muestran en el cuadro No.1.

CUADRO NO.1
GLACIAR DE CHACALTAYA: BALANCE ESPECIFICO VS ALTITUD

Δh (m)	s (Km ²)	B91-92 s/S	B92-93 s/S	B93-94 s/S	B94-95 s/S
<5100	0.0048	-61.67	-7.65	-56.41	-86.06
5100-5150	0.0183	-256.09	-20.05	-239.69	-345.40
5150-5200	0.0327	-441.32	34.20	-407.12	-543.91
5200-5250	0.0252	-247.23	119.22	-225.90	-307.47
5250-5300	0.0138	-133.33	67.35	-126.45	-171.81
>5300	0.0056	-54.10	27.33	-51.31	-69.72
TOTAL	0.1004	-1193.75	220.40	-1106.89	-1524.38

La Fig.4 muestra los valores de balance de masa respecto a los rangos de altitud y se observa que las curvas son semejantes con un desplazamiento secuencial, lo que puede permitir la reconstrucción de un balance a partir de algunas balizas en el caso de que parte de ellas se hubiesen perdido por determinadas contingencias.

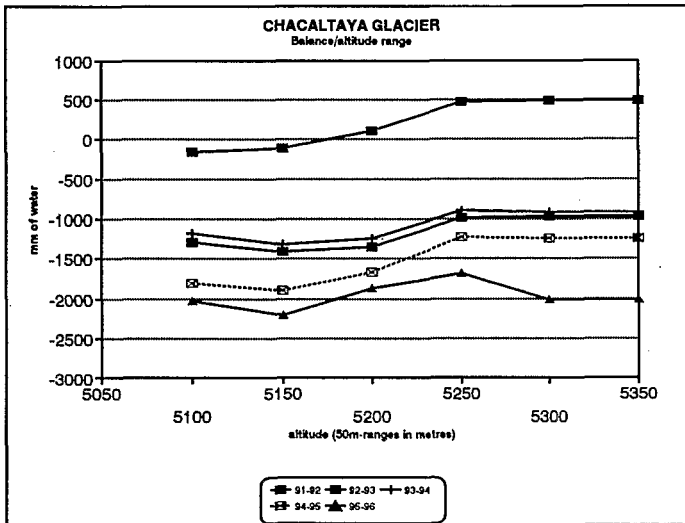


Fig.4 Glaciar de Chacaltaya: Balance de masa vs Rangos de altitud.

De igual manera, a los puntos así definidos para los rangos de altitud, se les aplicó un ajuste de tipo lineal para la determinación de la altitud de la línea de equilibrio (balance $b=0$, ELA) tal como se muestra en la figura No.5.

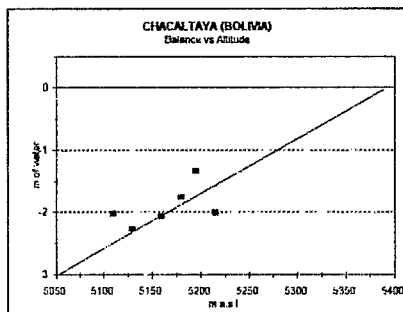
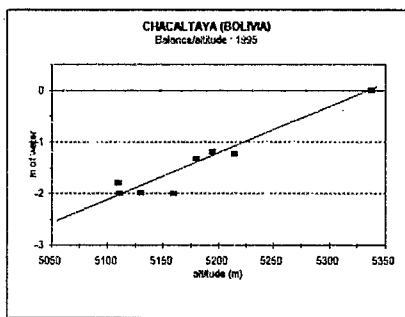
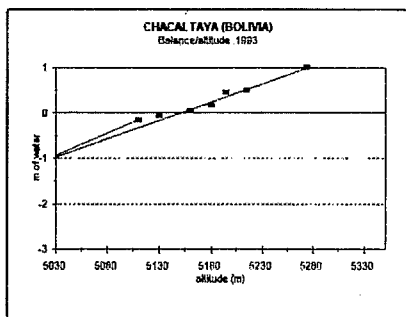
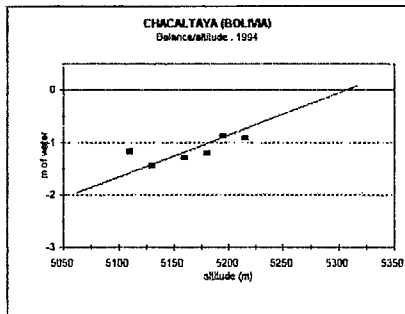
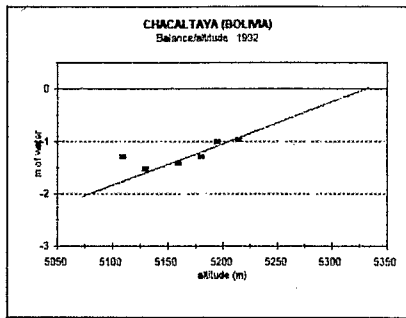


Fig..5 Ajuste lineal del Balance de Masa Chacaltaya

Una característica importante, fue el encontrar que para los años analizados las rectas de ajustes presentan un cierto paralelismo entre ellas lo que permite inferir que si bien los valores pueden cambiar dependiendo de si se tiene un año más positivo o más negativo, la pendiente de la recta de ajuste de estos puntos se mantendrá aproximadamente constante.

Este detalle permite a su vez poder tener cierto criterio de elección de

los puntos que deberán ser tomados en cuenta para su ajuste en posteriores observaciones.

De esta manera se ha estimado un valor promedio de ELA de 5175 msnm, aunque de acuerdo a los últimos registros se ha encontrado que este valor se encuentra por encima de la altitud máxima del glaciar, lo que indica que el glaciar en su conjunto se encuentra en la zona de ablación.

Un parámetro también importante que corrobora esta situación es el denominado AAR (del inglés Accumulation Area Ratio) que es la relación de área de acumulación respecto al área total del glaciar. Los valores determinados hasta el año 1995 se muestran en cuadro N°2.

**CUADRO N°2
POSICIONES DE LA LINEA DE EQUILIBRIO Y
PORCENTAJES DE RAZON DE AREA DE ACUMULACION**

AÑOS	ELA msnm	AAR %
1991-92	5332	2
1992-93	5149	77
1993-94	5318	4
1994-95	5338	0
1995-96	5385	

La Figura No.6 muestra en resumen los balances mensuales para el período de registro analizado conjuntamente con la curva de balance acumulado.

De este gráfico se puede apreciar que entre los meses de septiembre a diciembre se presenta generalmente una fuerte ablación, de diciembre a mayo existe una etapa de acumulación pero combinada con períodos de ablación de menor proporción respecto al anterior caso. De mayo a septiembre existe una relativa estacionariedad.

Para el primer caso, este efecto se explica a causa de que en este período existe una alta radiación incidente lo que provoca una elevación de la temperatura acompañada por baja nubosidad, consecuentemente baja precipitación. Esto provoca poca acumulación de nieve por lo tanto un albedo bajo (poca reflectividad).

En el segundo caso, el período, al coincidir con la época de lluvias, se caracteriza por una fuerte nubosidad y por lo tanto una disminución de la radiación incidente. Las altas precipitaciones provocan por lo tanto una mayor acumulación de nieve y consecuentemente un alto valor de albedo (0.9).

En el tercer caso, se tiene un período de relativa estacionariedad debido a que este coincide con la época de invierno caracterizada por bajas temperaturas y valores prácticamente nulos de precipitación. Si bien en este período existe una baja nubosidad que permite una incidencia directa de la radiación

solar, este efecto se contrarresta con las bajas temperaturas que evitan una ablación acentuada. En este período existe poco escurrimiento de fusión.

Adicionalmente, en la figura se observa el balance acumulado, que muestra que predomina la ablación (pérdida de masa) frente a la acumulación.

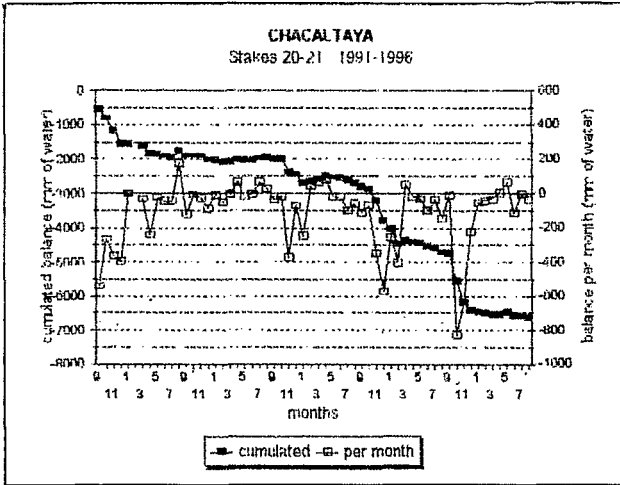


Fig. 6 Balance mensual y balance acumulado del Glaciar de Chacaltaya para el período 1991-1996

Retroceso del glaciar

La posición del frente del glaciar año tras año, es en un parámetro de comparación de la evolución de cambios que sufre un glaciar.

Para el caso de Chacaltaya propiamente, se ha realizado un seguimiento continuo de este retroceso a partir del año 1991 (año de inicio de la investigación). Adicionalmente se ha podido rescatar valiosa información de años anteriores a partir de algunas fotografías que muestran la extensión del glaciar.

Para el caso de los años de estudio la metodología aplicada fue utilizar cinco puntos representativos a partir de los cuales, tomados como referencia, se hicieron las mediciones al frente del glaciar y se adoptó un valor promedio para cada año.

Este análisis, mostró que entre el año 1940 a 1982 se produjo un retroceso promedio de 0.95 m/año; entre 1940 y 1993 2.01 m/año y entre 1982 y 1993 un valor promedio de 6.05 m/año.

Este último valor se fue manteniendo aproximadamente constante, sin embargo en el último año de medición se registró un retroceso de alrededor de 17 m.

La figura No.7 muestra claramente como el glaciar fue disminuyendo en el tiempo de acuerdo a levantamientos topográficos realizados en el lugar.

RETROCESO DEL GLACIAR DE CHACALTAYA PARA LOS DIFERENTES AÑOS DE ESTUDIO

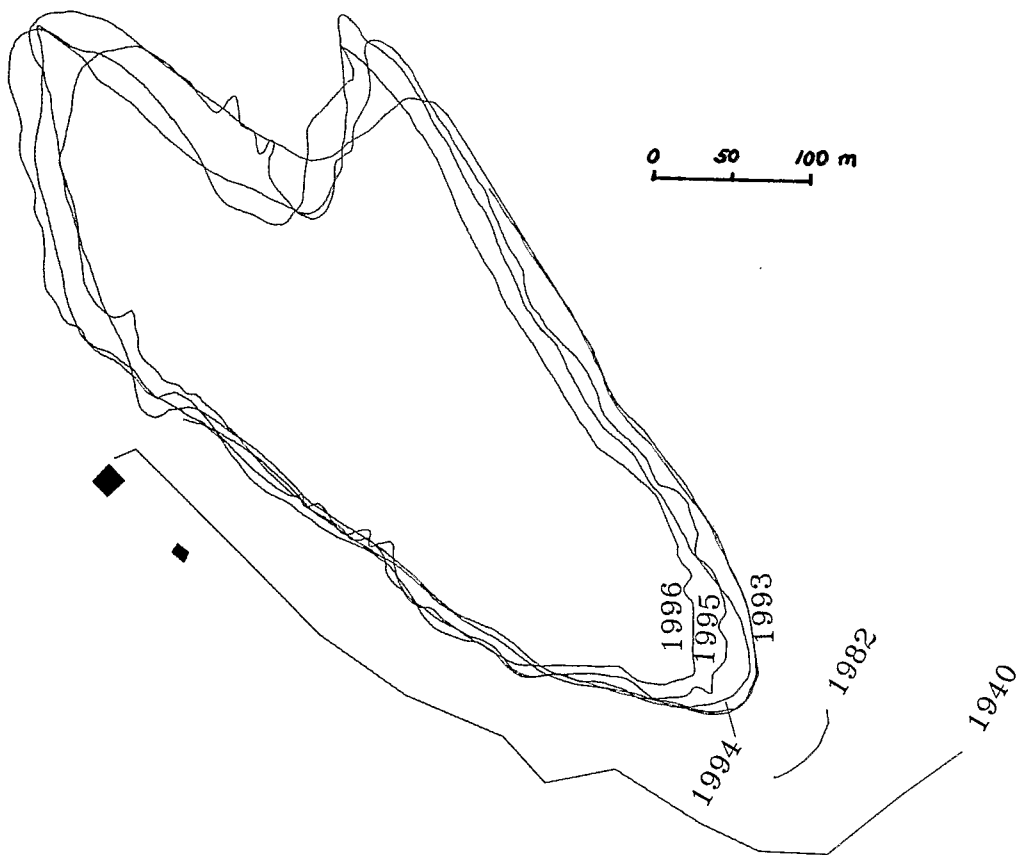


Fig. 7 Retroceso del frente del Glaciar de Chacaltaya

De acuerdo al análisis de áreas determinadas topográficamente para el Glaciar de Chacaltaya, se ha encontrado que desde el año 1940 a 1996 existe una disminución en superficie de aproximadamente un 45%.

Según las topografías de los últimos años, se ha encontrado la siguiente relación en disminución de superficie.

TRABAJOS RECIENTES

Con el fin de mejorar la precisión de los resultados en el estudio del glaciar, se ha realizado durante el año 1996 la ampliación de la red de balizas a través de la instalación de las mismas en el sector oeste del glaciar y en la parte alta.

CUADRO Nº.3

AREA DE LA SUPERFICIE DEL GLACIAR DE CHACALTAYA 1993-1996

Año	Area (m ²)
1993	94615
1994	88963
1995	86542
1996	83563

Estos puntos deberán permitir corroborar la información obtenida hasta el momento donde se consideraba un comportamiento común en ambos lados del glaciar para los diferentes rangos de altitud determinados.

Así mismo, se realizó un levantamiento topográfico de precisión enlazado con la red geográfica mundial al inicio de la temporada, donde se definió a su vez la posición de las nuevas balizas para su seguimiento respectivo.

En lo referente a la obtención de los parámetros meteorológicos, en el lugar, se encuentra en etapa de construcción y montaje una estación meteorológica que proporcionará información referente a: precipitación (pluviometría y pluviografía), temperatura (del ambiente y del suelo), viento y radiación solar.

TRABAJOS FUTUROS

En un futuro próximo, se prevé la instalación de una estación hidrométrica a la salida de la cuenca que, conjuntamente con la estación meteorológica, permita estimar el balance de masa a través del método hidrológico.

De igual manera, se prevé un estudio detallado del retroceso del glaciar a través de restitución aerofotogramétrica de fotografías de años anteriores y con vuelos que se estiman realizar cada año de aquí en adelante conjuntamente con la cooperación del Servicio Nacional de Aerofotogrametría de la Fuerza Aérea Boliviana.

REFERENCIAS

Francou, B., Bourges, J., Ribstein, P., Vargas, R., 1992 - Un Programa de Estudio de un glaciar tropical. Aplicaciones a los recursos de agua de una cuenca Andina, ORSTOM. La Paz, Bolivia.

Jordan, E., 1990 - Die Gletscher der Bolivianischen Anden. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 397p.

Mendoza, J., 1994 - Estudio del Régimen Pluviométrico en la cuenca del río La Paz, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Ramírez, E., 1995 - Influencia del Relieve sobre la Variabilidad Espacial y Temporal de las precipitaciones: Cuenca del río La Paz, Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Ramírez,E., Mendoza,J., Salas,E., & Ribstein,P., 1995 - Régimen espacial y temporal de las precipitaciones en la Cuenca de La Paz. Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines, 24(3): 391-401.

Ribstein,P., Hoorelbeke,R., Tiriau,E., Salas,E., & Cortez,J., 1993, Después del PHICAB, un nuevo proyecto hidrológico con ORSTOM. in: Seminario del Programa Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia (ORSTOM, IHH-UMSA, SENAMHI, CONAPHI), La Paz, Bolivia.

Segalino & Cabre, 1988 - El Clima de La Paz, Resultados del Observatorio de San Calixto, La Paz, Bolivia.