

# **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**



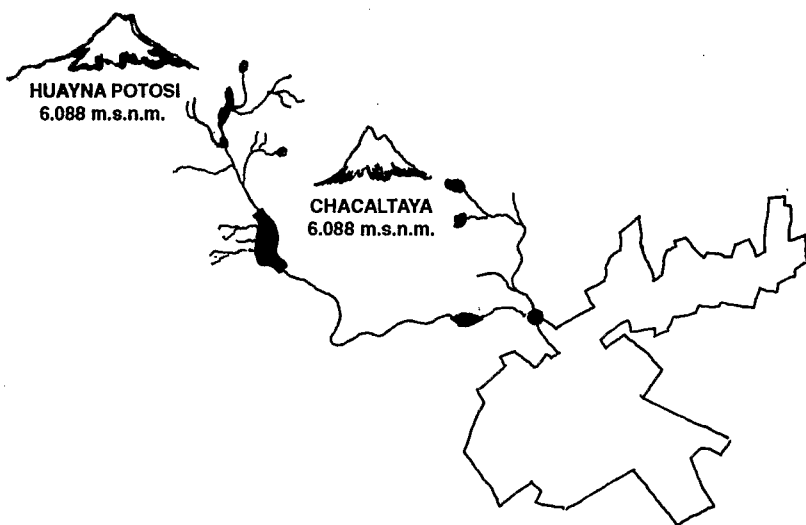


Fig.1 Ubicación del Glaciar de Chacaltaya

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).

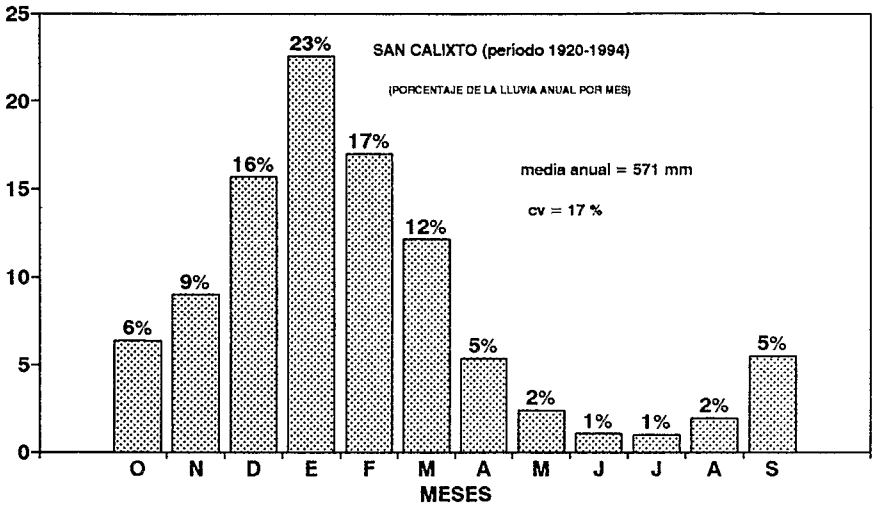


Fig.2 Distribución mensual de la lluvia en la ciudad de La Paz

Sis embargo de acuerdo a registros del Observatorio de San Calixto en la ciu

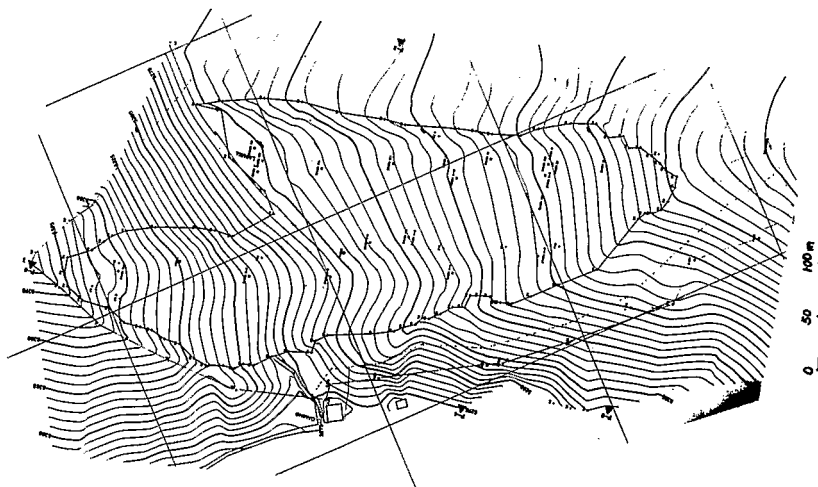
o lado izquierdo del glaciar forma parte de la pista de ski del mismo, lo que dificulta las mediciones respectivas.

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

| $\Delta h$<br>(m) | s<br>(Km <sup>2</sup> ) | B91-92<br>s/S | B92-93<br>s/S | B93-94<br>s/S | B94-95<br>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.

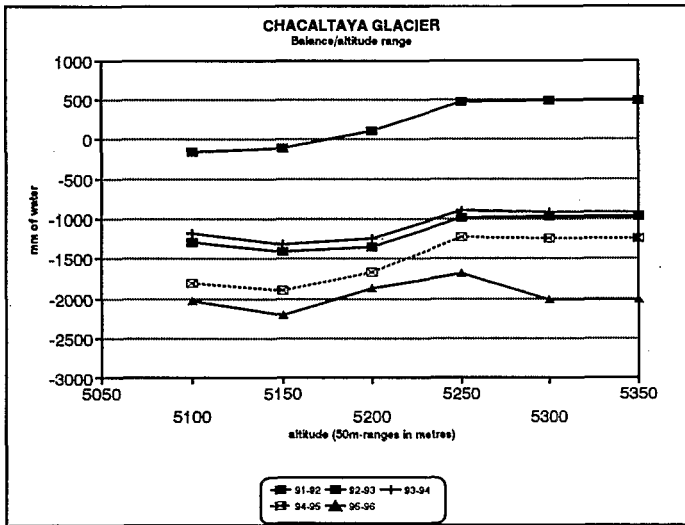
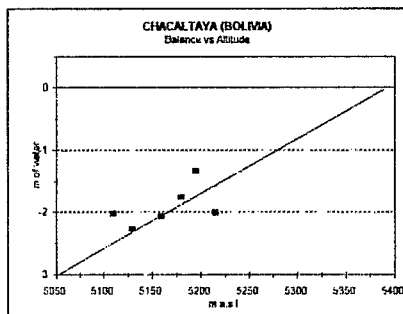
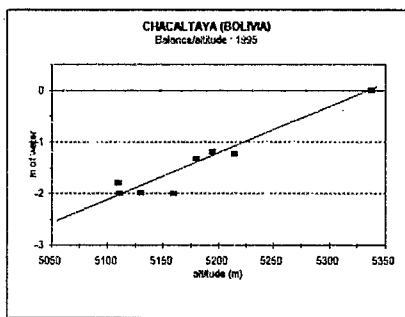
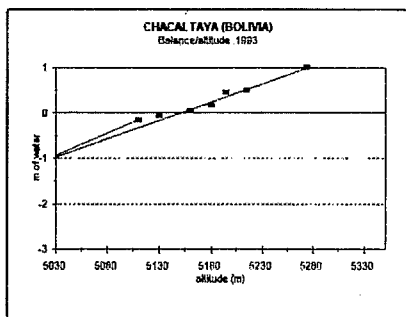
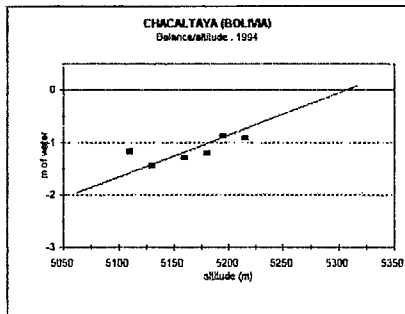
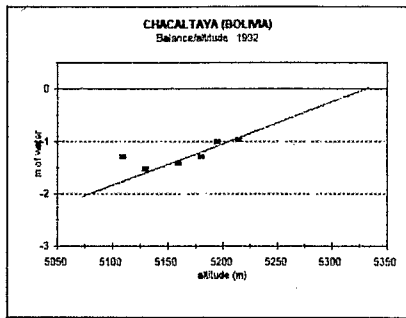


Fig.4 Glaciar de Chacaltaya: Balance de masa vs Rangos de altitud.

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 EQUILIBIO Y

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.

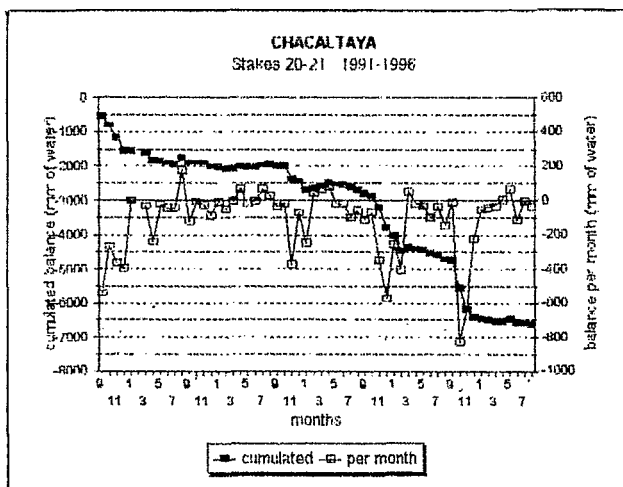


Fig. 6 Balance mensual y balance acumulado del Glaciar de Chacaltaya para el período 1991-1996

### 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.



## RETROCESO DEL GLACIAR DE CHACALTAYA PARA LOS DIFERENTES AÑOS DE ESTUDIO

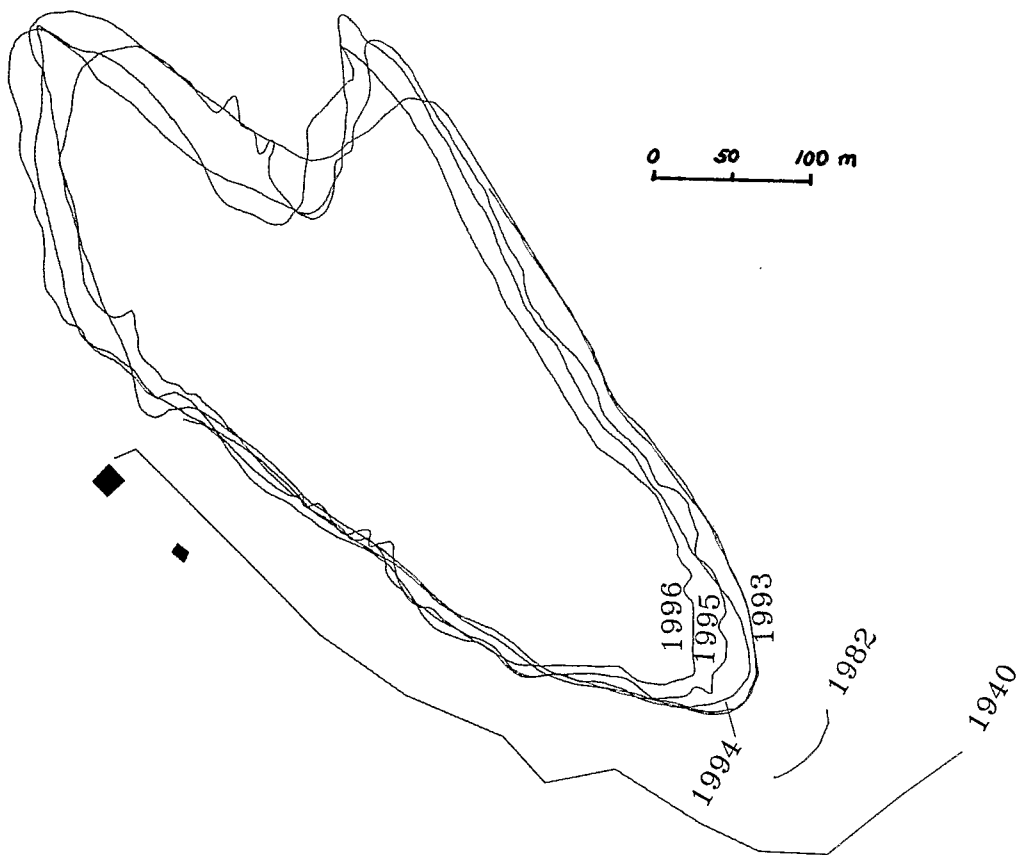


Fig. 7 Retroceso del frente del Glaciar de Chacaltaya

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**

| <b>Año</b> | <b>Area (m<sup>2</sup>)</b> |
|------------|-----------------------------|
| 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

