

# La decadencia de los glaciares que aumentan su masa

## CD2201-27 Modulo Interdisciplinario

### Autores

1. Luis Godoy
2. Joaquín López
3. Felipe Pérez ## Profesor y Auxiliares

- Rodrigo Chi
- Valeria Bustamante
- Daniela Parra
- Bárbara Rocco

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

In [ ]:

```
import funciones
```

### Resumen

En este informe se busca describir los glaciares que aumentan su masa y compararlos con los que presentan ablación. Mediante el uso de datasets, gráficos y aplicación de métodos de análisis se obtiene que los glaciares que aumentan su masa están en disminución, y la variación de temperatura y ELA está estrechamente relacionado con cambios en el balance de masa.

### Introducción

El mundo actualmente se enfrenta a un cambio climático sin precedentes, grandes emanaciones de gases de efecto invernadero producen un calentamiento global que a su vez lleva al derretimiento de glaciares y aumento del nivel de los océanos. A pesar de esta tendencia, aún existen un pequeño porcentaje de glaciares que se oponen a este cambio y que mantienen un aumento de masa. Siendo estos en lo que se centrará el trabajo de investigación, el cual se realizara mediante la creación de gráficos y aplicación de métodos de análisis de datos.

Para ello se busca describir los glaciares que aumentan su masa y compararlos con los que presentan ablación mediante los siguientes objetivos específicos:

- Calcular el porcentaje de glaciares que presentan aumento de masa para diferentes años, para luego mostrar como varía la cantidad.
- Localizar los glaciares que aumentan su masa un año de medición.
- Comparar la acumulación de balance de masa entre dos glaciares.
- Relacionar la variación del ELA de un glaciar con su balance de masa a lo largo de los años.
- Relacionar las variables de temperatura y precipitación con el balance de masa en el Glaciar Taku.

Definiciones previas:

- **Glaciar:** Según el IPCC 2001, un Glaciar es una Masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo (por deformación de su estructura y por el deslizamiento en su base), encerrado por los elementos topográficos que lo rodean, como las laderas de un valle o las cumbres adyacentes; la topografía del lecho de roca es el factor que ejerce mayor influencia en la dinámica de un glaciar y en la pendiente de su superficie. Un glaciar subsiste merced a la acumulación de nieve a gran altura, que se compensa con la fusión del hielo a baja altura o a la descarga en el mar.

□

Fuente: <https://whvn.cc/nkm1vq>

- **Balance de masa:** Según Francou and Pouyaudque 2004, se define balance de masa como el cambio en la masa de un glaciar, o parte de un glaciar para un periodo determinado mediante la suma de la acumulación y la ablación en un lapso de tiempo dado para el glaciar. Cabe destacar que en este informe utilizaremos el balance de masa **anual**, el cual es la suma entre el balance

de masa en el invierno y el verano.

- **Zonificación de glaciares:** Estos a su vez se subdividen en dos zonas importantes a lo largo de su altimetría, la zona en donde se acumula masa de glaciar en cierto periodo de tiempo llamada zona de acumulación y otra en la cual se produce una perdida de masa durante el mismo periodo, llamada zona de ablación. Estas a su vez son diferenciadas en cierta altura característica denominada “Línea de Equilibrio Altitudinal”(ELA por sus singlas en ingles) en donde se tiene un balance 0.

□

Fuente: Rivera, A.; Bown, F.; Napoleoni, F.; C. Muñoz and Vuille, M. (2016) : «Bciar»-6fbb91070325.png

## Desarrollo

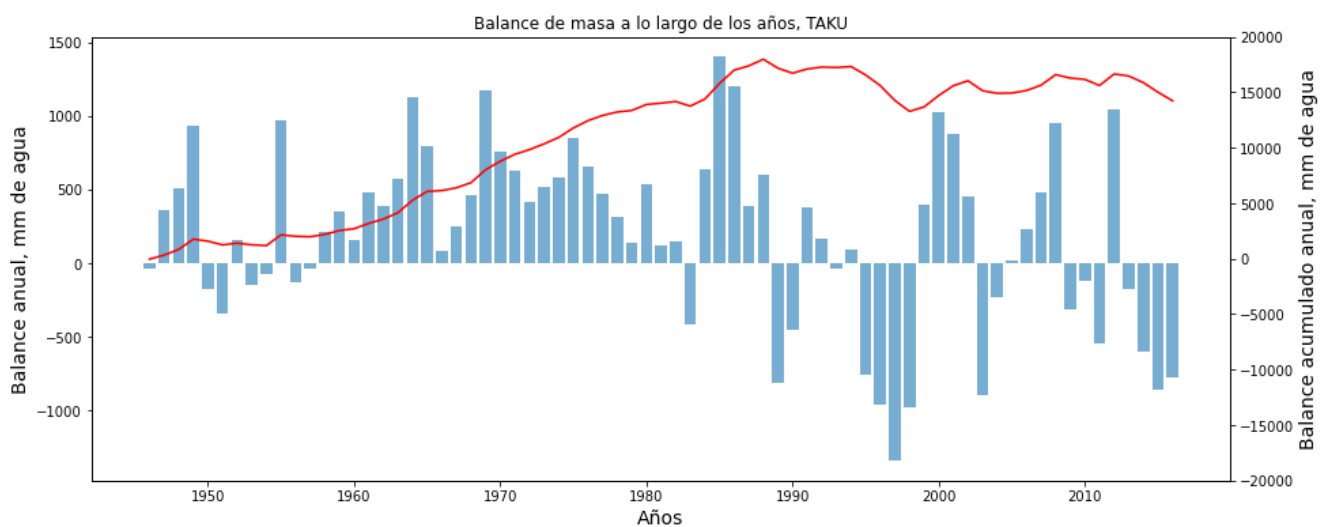
### Comparación de glaciares

Con los datos del balance de masa para distintos años,tanto del glaciar Taku como para el Glaciar Echaurren norte se realizan gráficos que muestren la acumulación a lo largo de los años de estos valores para comparar la variación de balance de masa para estos dos glaciares.

In [ ]:

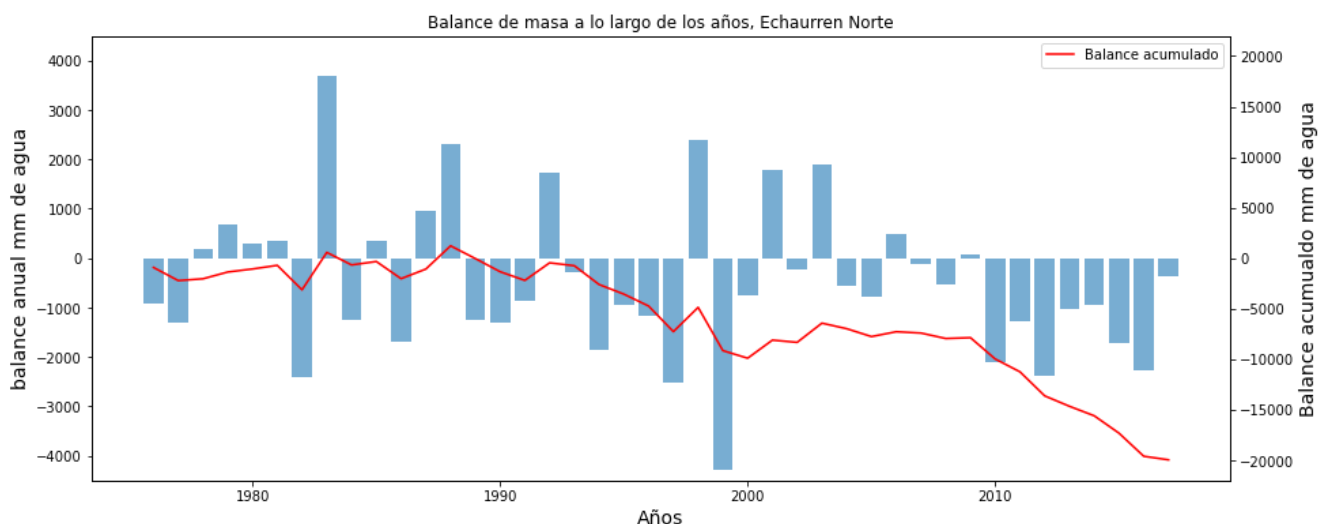
```
funciones.balantaku()
```

<Figure size 432x288 with 0 Axes>



In [ ]:

```
funciones.balancehau()
```



Se sabe que el glaciar Taku tuvo largos periodos de aumento de masa ,esto queda demostrado en el gráfico para este glaciar en donde se puede observar que a lo largo de los años ha acumulado un balance de masa positivo,en comparación con lo sucedido con el glaciar Echaurren norte en donde se observa un balance acumulado negativo,coincidiendo así con la información obtenida de que este glaciar ha perdido masa.

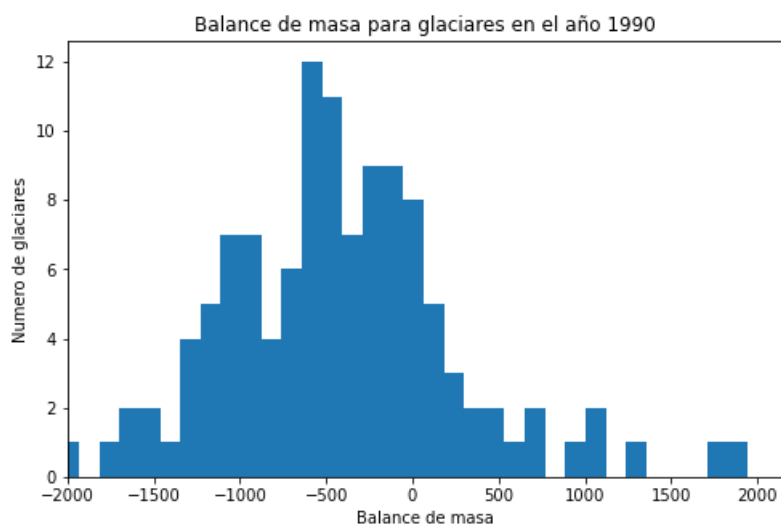
Se empezó realizando un histograma del balance de masa de los glaciares para el año 1990 y tener una imagen visual de como se distribuyen los balances y como han cambiado en el tiempo.

In [ ]:

```
funciones.histograma1990()
```

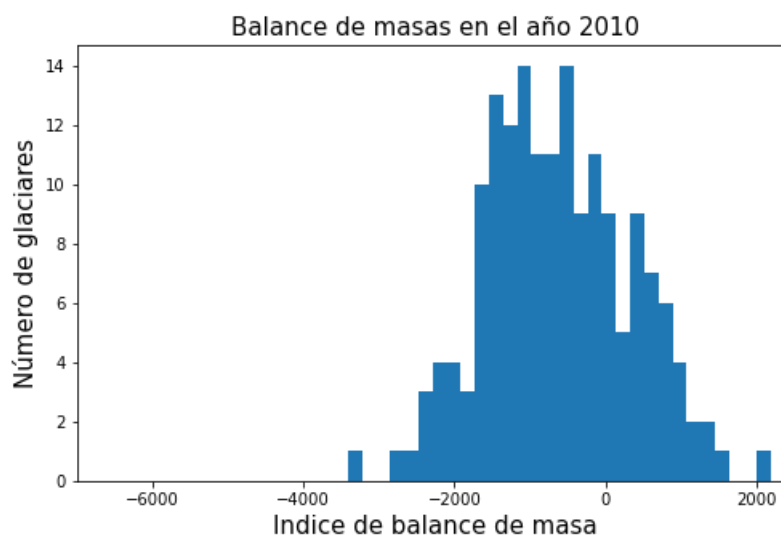
21.84873949579832

```
C:\Users\Luis\anaconda3\lib\site-packages\numpy\lib\histograms.py:839: RuntimeWarning: invalid
value encountered in greater_equal
  keep = (tmp_a >= first_edge)
C:\Users\Luis\anaconda3\lib\site-packages\numpy\lib\histograms.py:840: RuntimeWarning: invalid
value encountered in less_equal
  keep &= (tmp_a <= last_edge)
```



In [ ]:

```
funciones.histograma2010()
```



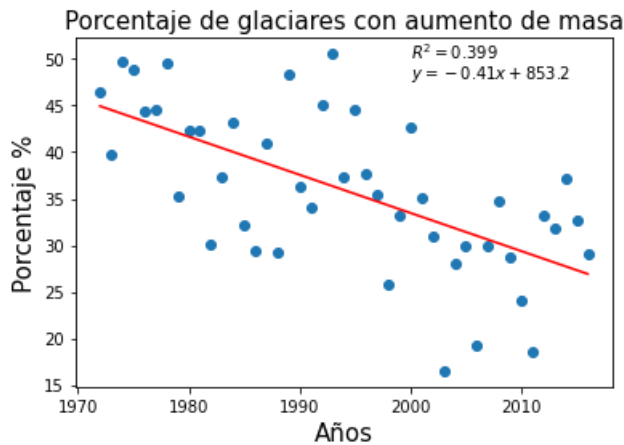
Luego se calcula el porcentaje de glaciares que presentan un balance da masa positivo en relación al total de glaciares para cada año desde 1970 hasta el año 2015, estos porcentajes luego se grafican a lo largo de estos años para poder observar la tendencia de estos datos.

In [ ]:

```
funciones.percent_gla()
```

0.3988357117104151

-0.4099 x + 853.2



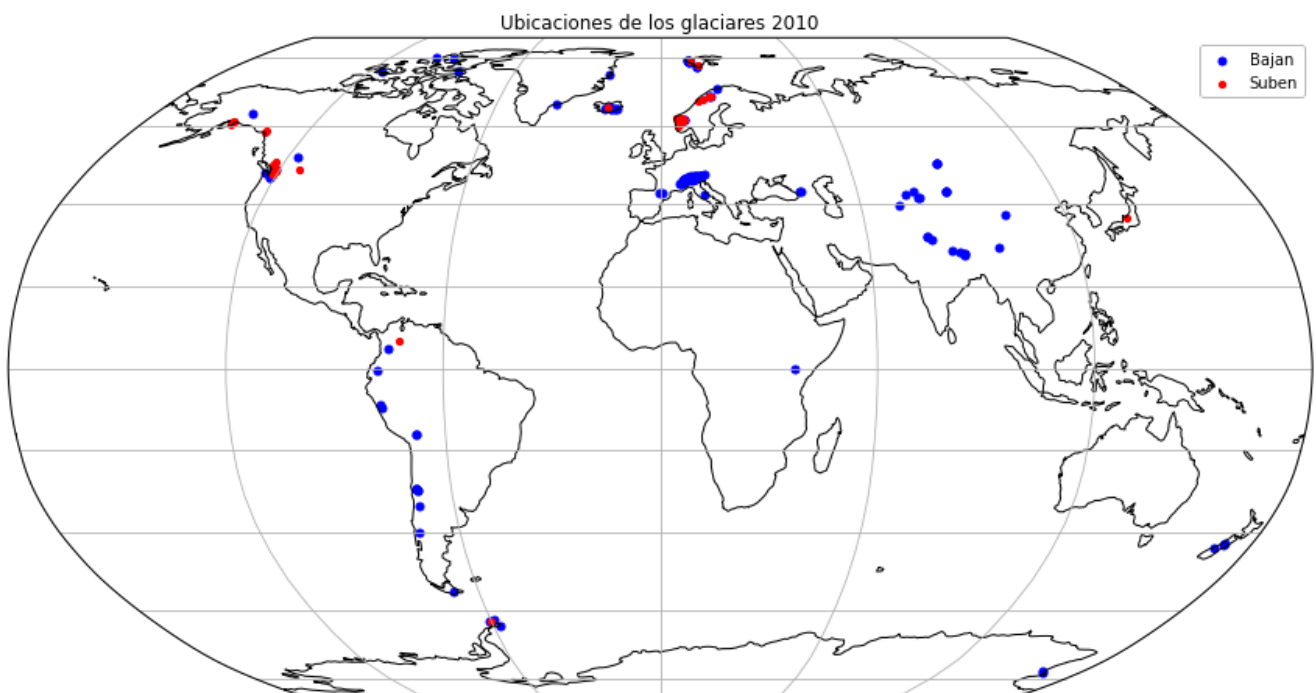
Se observa que la tendencia los glaciares que presentan un aumento de masa ha disminuido desde el año de 1970 hasta ultima fecha graficada.

## Localización de glaciares con aumento de masa

Luego se empezó a ubicar los glaciares en el mundo y colorear de tal manera que, rojos son los que suben y azules son los que bajan.

In [ ]:

```
funciones.mapita()
```



Observándose que en algunos pocos lugares aislados es en donde se encuentran glaciares que aumentan su masa, en lugares como el Himalaya, la Antártica y Alaska, en este último se encuentra el glaciar Taku, el cual se analizará en mayor profundidad.

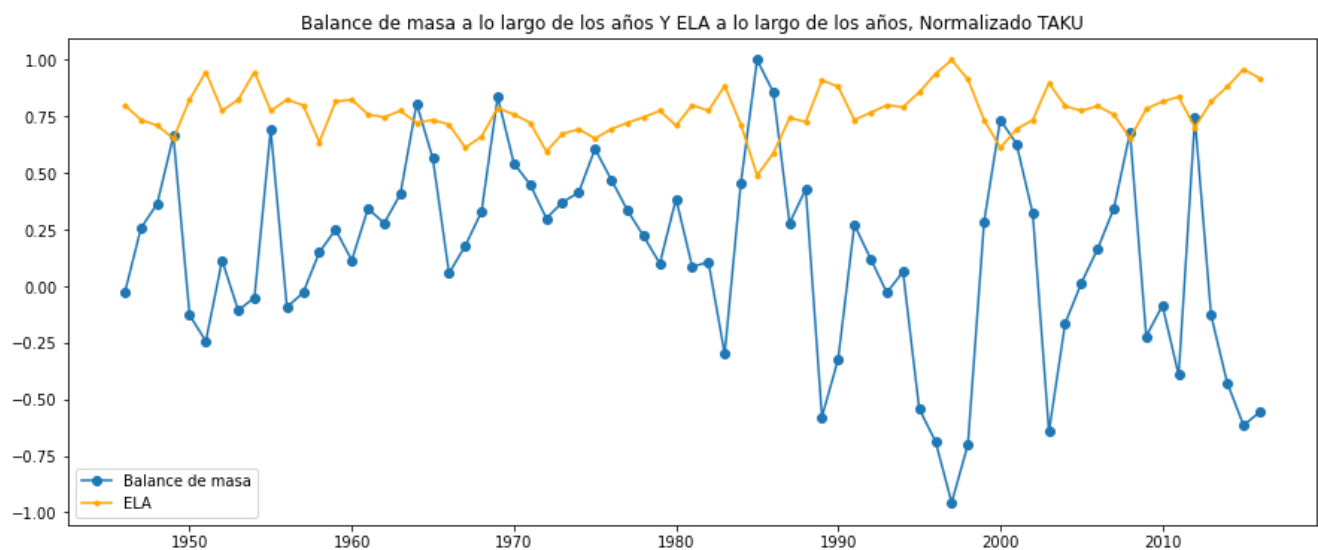
## Relación entre ELA y balance de masa

El aumento o disminución de masa de un glaciar se aprecia en variaciones de algunas de sus características, siendo una de las más notables el ELA de un glaciar, es por ello que se realizan gráficos relacionando este valor con las variaciones de balance de masa.

Con el fin de establecer una relación entre la altura del ELA y el balance de masa, se utilizaron los datasets que contienen estos datos para generar gráficos en los cuales se pueda observar algún tipo de relación. Luego, en primer lugar se realiza un gráfico de Altura del ELA (en msnm) vs el balance de masa (mm w.a) y posteriormente para un mismo gráfico se incluyen los datos del balance de masa y altura del ELA para distintos años.

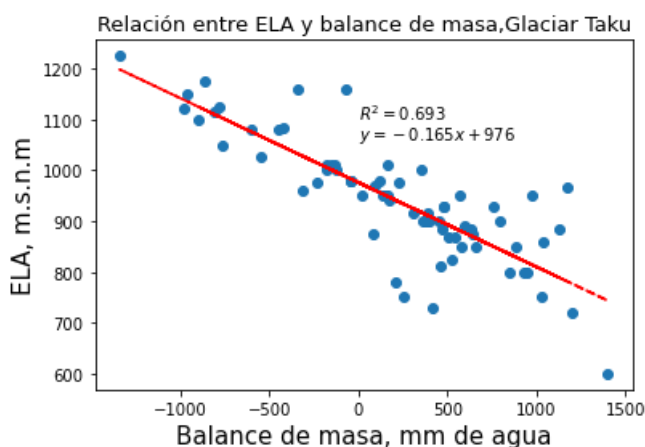
In [ ]:

```
funciones.ELAvsBM()
```



In [ ]:

```
funciones.ELAconBM()
```



En el gráfico de relación entre ELA y balance de masa, se puede apreciar que a medida que el balance de masa del glaciar Taku aumenta, la altura del ELA disminuye. Esta tendencia se vuelve a observar en el gráfico que relaciona las variables con el tiempo, en donde para cada año de medición se vuelve a observar la tendencia ya descrita, se puede establecer así la existencia de una relación inversa entre estas dos variables.

Para fundamentar la relación anteriormente observada, se realiza la siguiente prueba de hipótesis:

**Hipótesis nula:** El ELA no tiene relación con el balance de masa de los glaciares.

Hipótesis nula: ELA no tiene relación con el balance de masa de los glaciares.

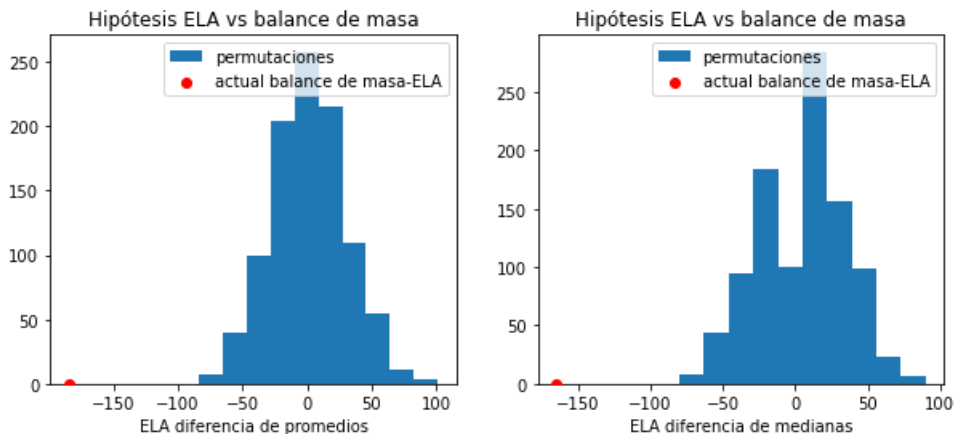
**Hipótesis alternativa:** En los glaciares al aumentar su balance de masa, su altura del ELA disminuye.

In [ ]:

```
funciones.hipELA()
```

p de promedio 0.0

p de mediana 0.0



De la prueba de hipótesis se obtuvo un valor de  $p = 0$ , valor que confirma que en los glaciares al aumentar su balance de masa, su altura del ELA disminuye.

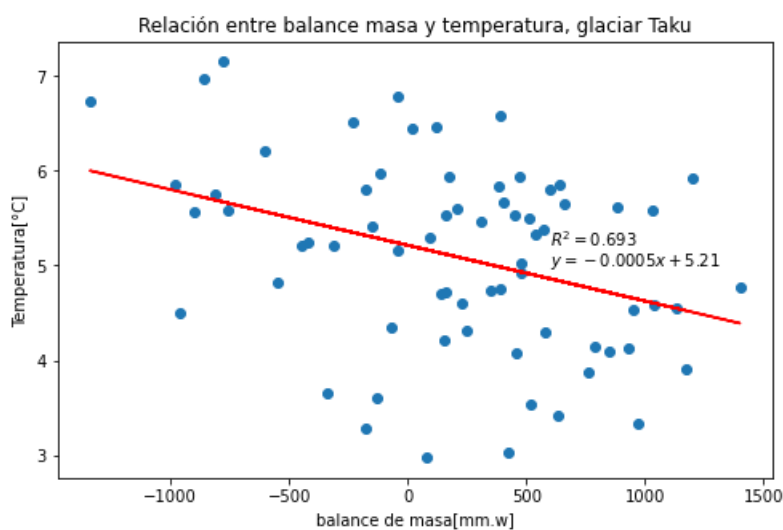
## Relación entre temperatura y balance de masa

Un glaciar aumenta de masa cuando la nieve precipitada se solidifica en la zona de acumulación, esta a su vez puede derretirse antes de haber sido compactada debido a mayores temperaturas, es debido a este proceso que entre los factores que más influyen en la variación de un glaciar se encuentran las precipitaciones y la temperatura. Debido a ello se realizarán gráficos que establezcan relaciones existentes entre el balance de masas y estas variables.

En primer lugar se realiza un gráfico de temperatura vs balance de masa para luego realizar un gráfico en donde estos datos puedan ser observados a lo largo de distintos años.

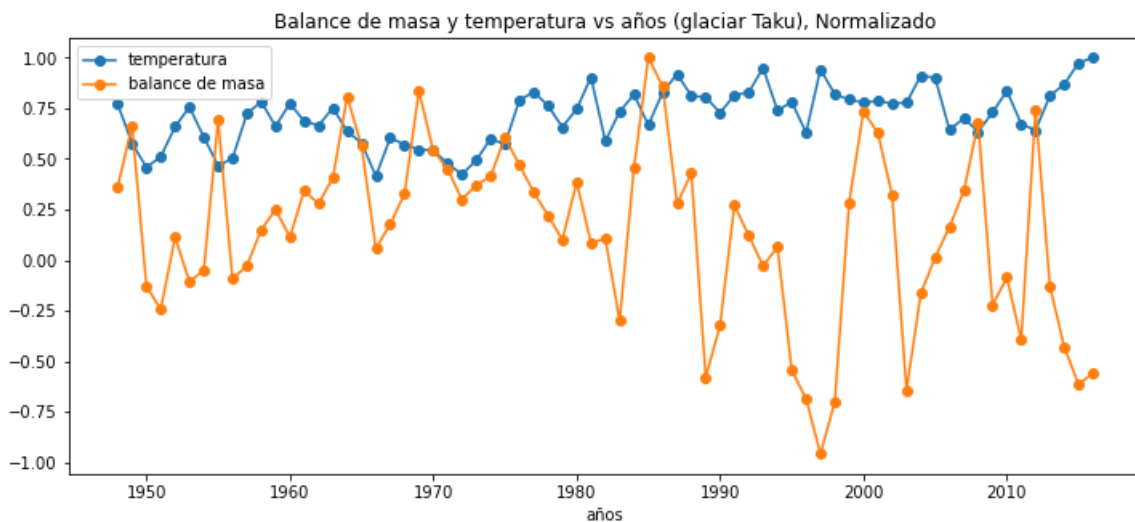
In [ ]:

```
funciones.masaTemp()
```



In [ ]:

```
funciones.masaTemp2()
```



De los gráficos temperatura vs balance de masa se observa una relación entre estas dos variables, pero para lograr fundamentarla de buena manera, se realizó la siguiente prueba de hipótesis:

**Hipótesis nula:** La temperatura promedio no tiene relación sobre el balance de masa de los glaciares.

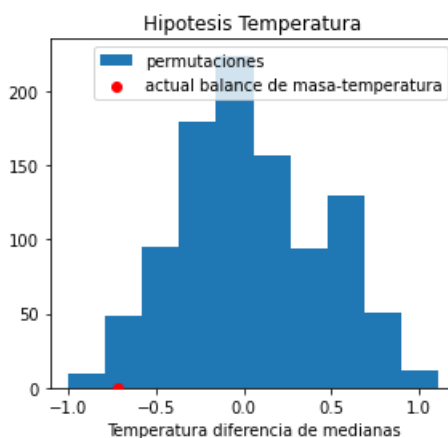
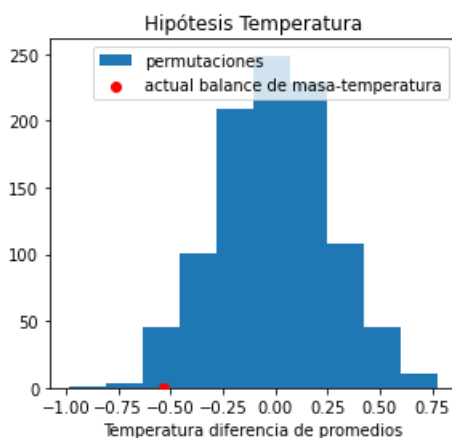
**Hipótesis alternativa:** Los glaciares aumentan su masa al disminuir la temperatura promedio.

In [ ]:

```
funciones.hipTemp()
```

p de promedio 0.019

p de mediana 0.022



Los valores obtenidos de  $p$  son pequeños, los cuales confirman que los glaciares aumentan su masa al disminuir la temperatura promedio.

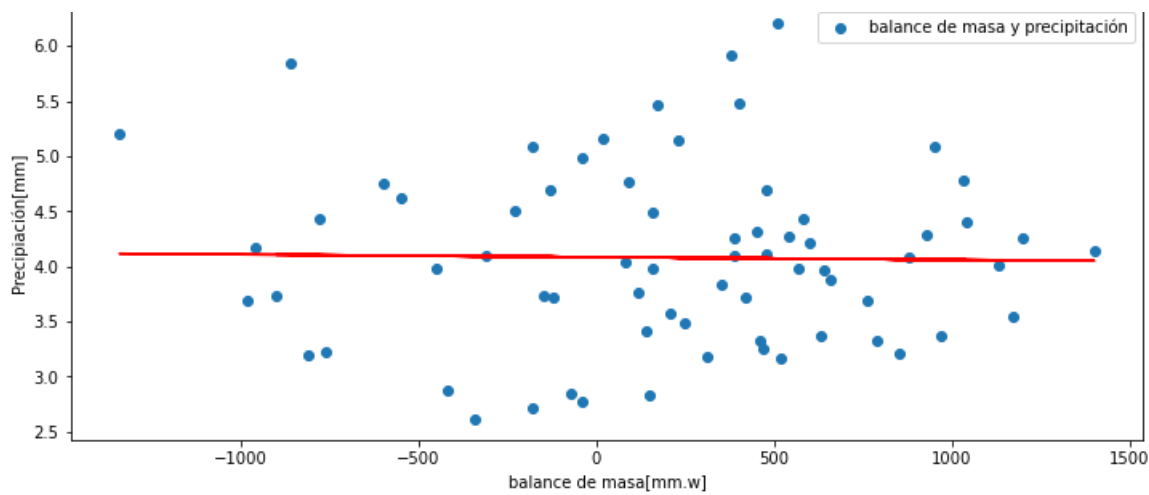
## Relación entre precipitación y balance de masa

De igual manera, se puede conjeturar que al aumentar las precipitaciones en la zona, aumentaría la cantidad de nieve acumulada, generando un aumento en el balance de masa.

Análogo a lo anterior se realiza un gráfico de precipitación vs balance de masa para luego realizar un gráfico en donde estos datos puedan ser observados a lo largo de distintos años.

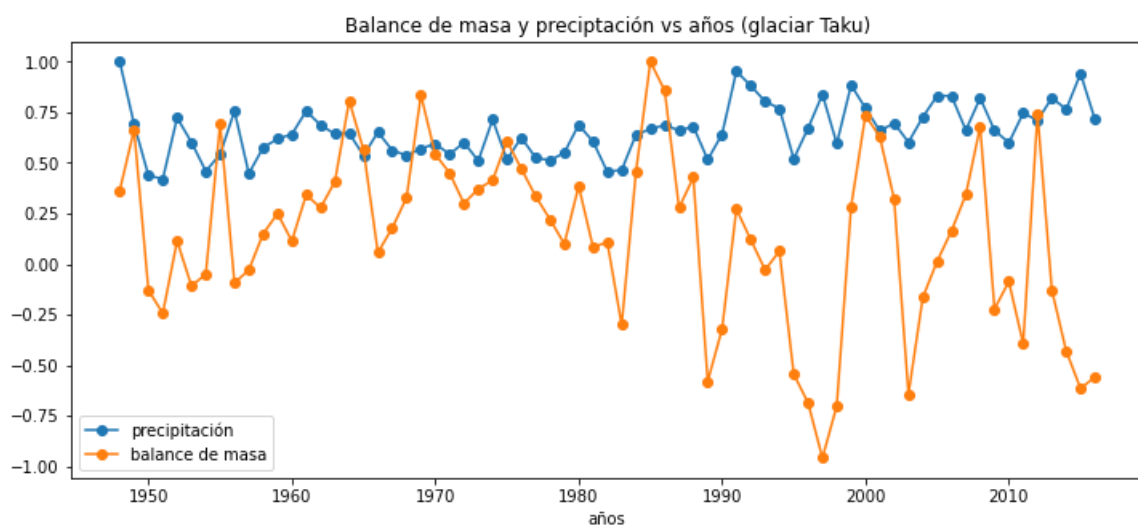
In [ ]:

```
funciones.masaPre()
```



In [ ]:

```
funciones.masaPre2()
```



Al observar estos datos no se puede establecer alguna relación entre la temperatura a primera vista. Para poder analizar la existencia de una relación entre temperatura y balance de masa, se realiza el siguiente test de hipótesis:

**Hipótesis nula:** Las precipitaciones en promedio no tiene relación sobre el balance de masa de los glaciares.

**Hipótesis alternativa:** Los glaciares aumentan su masa al aumentar las precipitaciones en promedio.

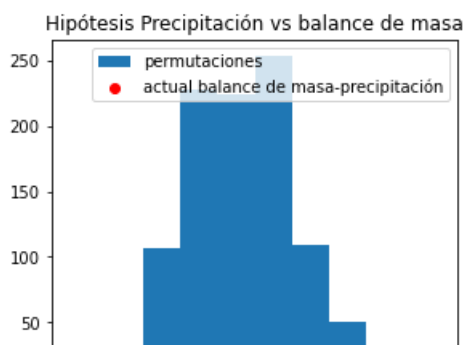
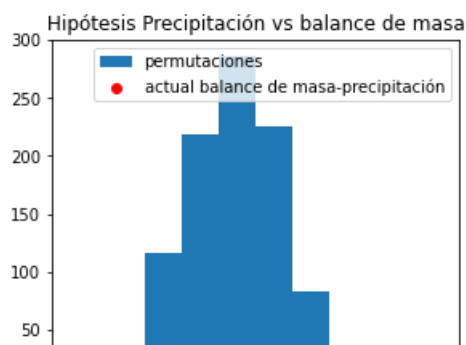
Es esperable que sea un valor de  $p$  no cercano a 0 ya que las imagenes previas muestran que no tienen una relacion notoria.

In [ ]:

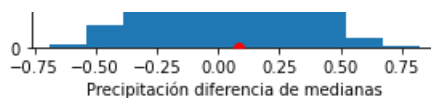
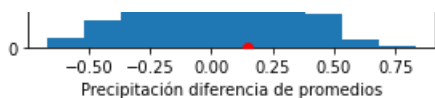
```
funciones.hipPre()
```

p de promedio 0.223

p de mediana 0.397







## Conclusión

Si bien, pese al calentamiento global aun existen glaciares que aumentan su masa, estos casos van en decadencia desde hace muchos años, como es el caso de glaciar Taku el cual tuvo un constante aumento hasta el año 2016 y desde ese año ha seguido la tendencia mundial de encontrarse en retirada.

Estos procesos se evidencian en la variación de la altura del ELA. Siguiendo con el ejemplo de lo observado para el glaciar Taku, en sus años de aumento de masa se mostraba una constante disminución de la altura del ELA.

Es posible ahondar aún más en el cálculo y análisis de la altura del ELA, mediante diversos métodos para lograr entender las causas y efectos de su variación, pero eso sería tema para una investigación más profunda, y citando a el paper 'Equilibrium line altitude' de "Bakke y Nesje 2011": 'Aunque el ELA esta determinado por las condiciones locales del tiempo (Temperatura y Precipitaciones), es un buen indicador para el clima regional, ya que las fluctuaciones del balance de masa del glaciar generalmente estan fuertemente relacionadas con el clima en distancias de alrededor 500 km (Letreguilly and Reynaud, 1989)'.

Además estos cambios se deben mayormente a una relación existente entre la temperatura pues solo con esta variable climática se observa alguna relación existente con el balance de masa, comprobada además al haber realizado el test de hipótesis, en cambio en el caso de las precipitaciones no se pudo obtener que existía alguna relación entre las precipitaciones y el balance de masa, ya que en lo gráficos no se puede apreciar y además mediante el test de hipótesis se reafirmo la hipótesis nula de que la precipitación promedio no tiene relación con el balance de masa.

Las precipitaciones no presentan alguna relación con el balance de masa, ya que si bien la nieve precipitada que se solidificada se transforma en hielo en la zona de acumulación del glaciar, la temperatura afecta de tal forma que influye en si esta nieve es derretida antes de solidificarse o si logra termina el proceso de solidificación.

## Bibliografía

- Rivera, A.; Bown, F.; Napoleoni, F.; C. Muñoz and Vuille, M. (2016) : «Balance de masa glaciar» Ediciones CECs, Valdivia, Chile, 203 pp.
- Nolan, M., Motkya, R. J., Echelmeyer, K., & Trabant, D. C. (1995). Ice-thickness measurements of Taku Glacier, Alaska, USA, and their relevance to its recent behavior. *Journal of Glaciology*, 41(139), 541-553.
- McNeil, C. J., Campbell, S. W., O'Neel, S., and Baker, E. H., 2019, Glacier-wide mass balance and compiled data inputs: Juneau Icefield glaciers, (ver. 1.0, November 2019): U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/P9YBZ36F>
- WGMS (2017): Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014-2015). Zemp, M., Nussbaumer, S.U., Gärtner-Roer, I., Huber, J., Machguth, H., Paul, F. and Hoelzle, M. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 244 pp. Based on database version: doi: 10.5904/wgms-fog-2017-10.
- Bakke J., Nesje A. (2011) Equilibrium-Line Altitude (ELA). In: Singh V.P., Singh P., Haritashya U.K. (eds) Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2\\_140](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2_140)

In [ ]: