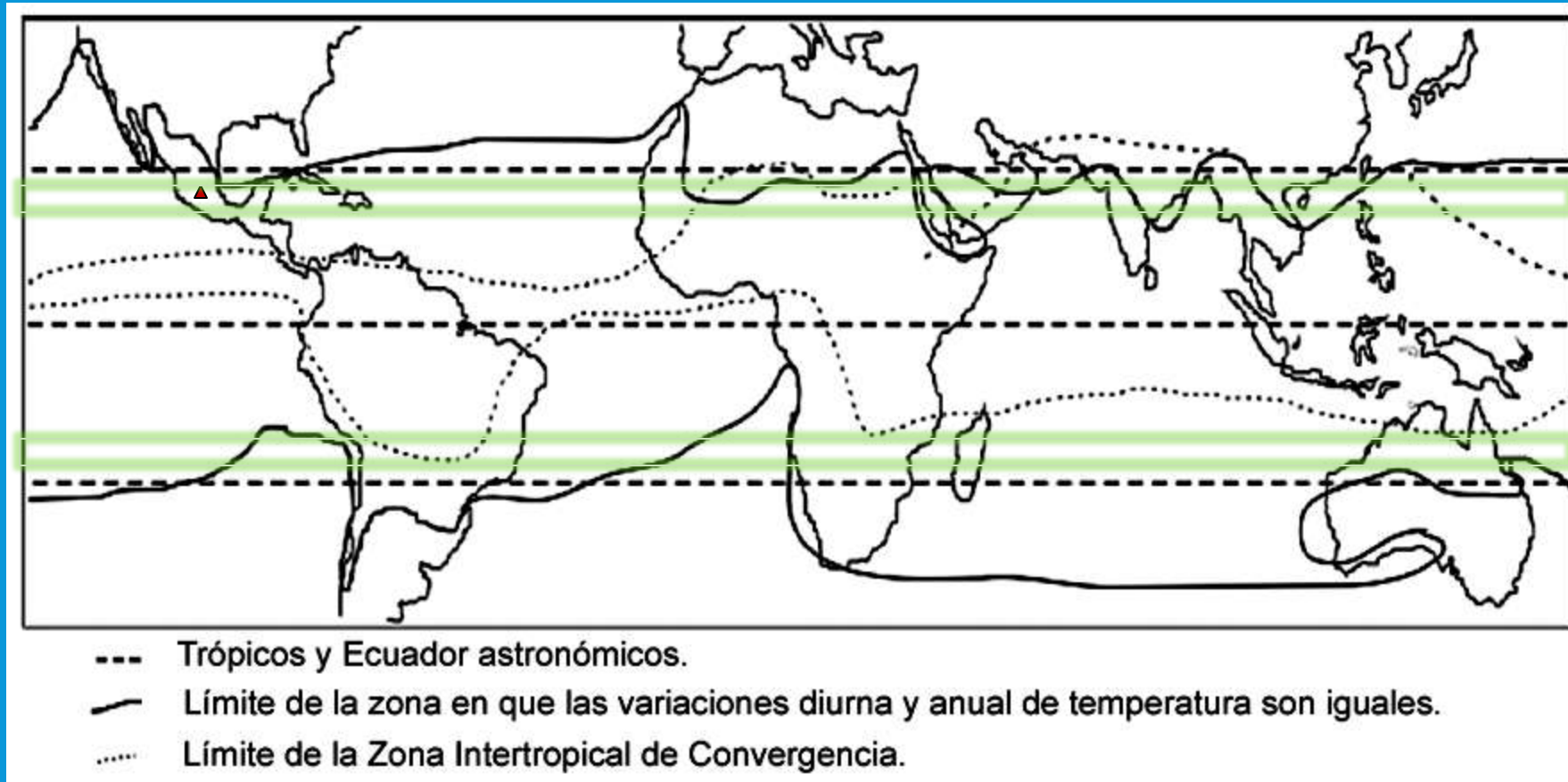


Los últimos glaciares tropicales del norte: el adiós al hielo en México

Hugo Delgado Granados
Departamento de Vulcanología
Instituto de Geofísica, UNAM



Ubicación de los trópicos meteorológicos y astronómicos



Características del entorno de los glaciares de México

- En México, los glaciares del Iztaccíhuatl, Popocatepetl y Citlaltépetl fueron formados sobre sus laderas favorecidos por la **elevación** y **orientación** de las laderas.
- La **temperatura media anual** del aire entorno a los glaciares de México fluctúa muy cerca de los **0°C**
- Un régimen térmico cercano **0°C** condiciona la existencia de precipitación **líquida, sólida o mixta** sobre el hielo glaciar
- La oscilación térmica entorno a **0°C**, el **déficit de precipitación** y el almacenamiento de **energía** en la superficie glaciar, impacta **negativamente** en el balance de su masa.
- El **retroceso** de los glaciares **mexicanos**, se ha intensificado en décadas recientes.
- La línea de equilibrio se encuentra **a más de 5,300 msnm**



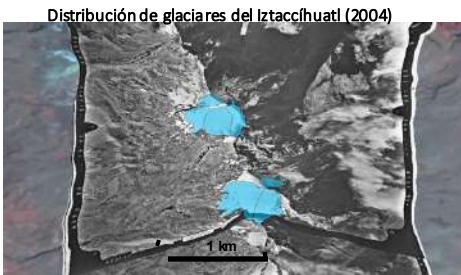
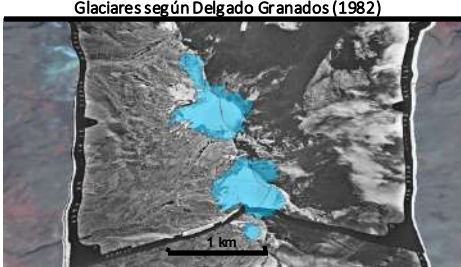
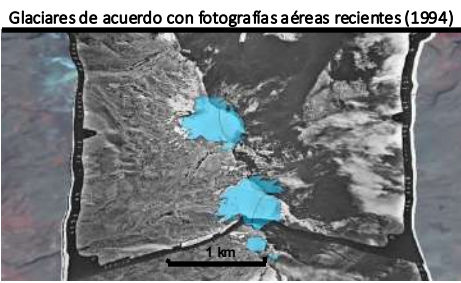
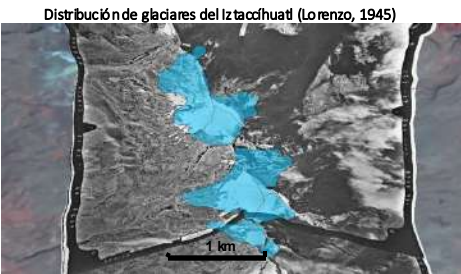
En el siglo XX, hubo glaciares en las 3 montañas más altas de México

- Iztaccíhuatl (5286 msnm) 45 km al SE de la Ciudad de México
- Popocatépetl (5420 msnm) 60 km al SE de la Ciudad de México
- Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5640 msnm)



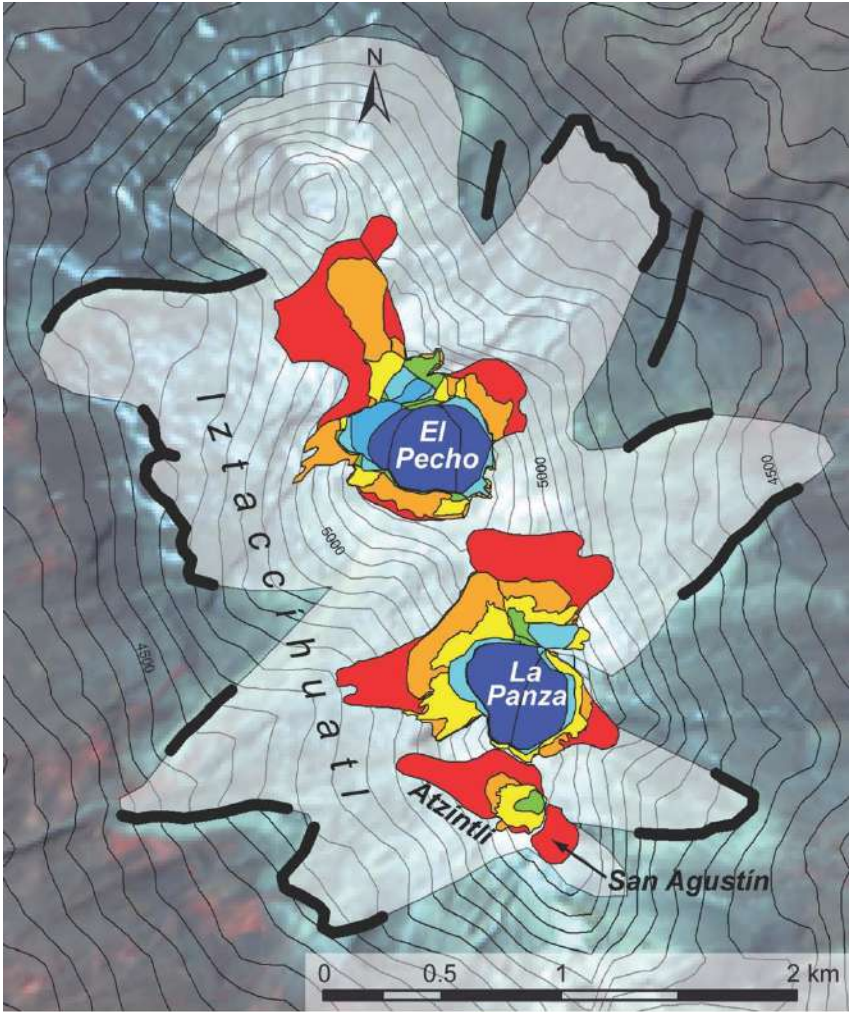
Volcán Iztaccíhuatl

Base: fotografías aéreas (1994)



Contorno de los glaciares en ocho fechas diferentes

Curvas de nivel cada 50 m



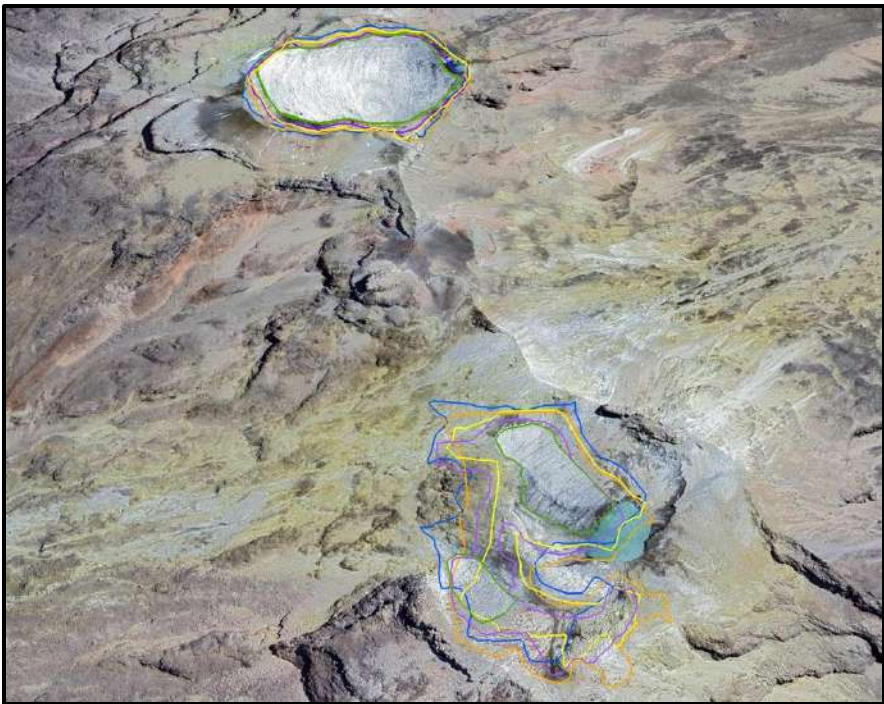
- | | |
|------------------------|------------------------|
| Glaciers 1850 | Glaciers March 2001 |
| Glaciers 1959 | Glaciers November 2004 |
| Glaciers 1982 | Glaciers March 2006 |
| Glaciers December 1994 | Glaciers March 2007 |
| Moraines of 1850 | |

Schneider et al., 2008

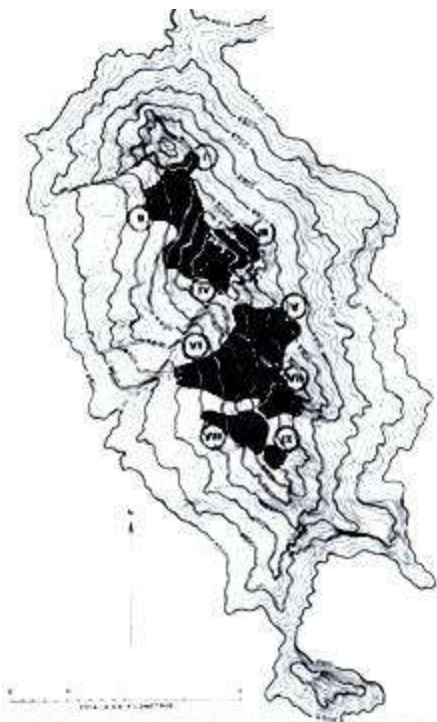
Contorno de los glaciares 2016-2024

Imágenes Landsat

Trazo	Fecha	La Panza km ²	El Pecho km ²	Total
Azul	Mayo 2016	0.080	0.124	0.204
Naranja	Febrero 2017	0.084	0.119	0.203
Amarillo	Enero 2020	0.058	0.112	0.170
Morado	Diciembre 2021	0.055	0.102	0.157
Verde	Junio 2024	Panza 1: 0.016	0.089	0.110
		Panza 2: 0.005		
		≡0.021		
Total del área glaciar perdida entre 2016 y 2024		<u>0.059</u>	<u>0.035</u>	0.094

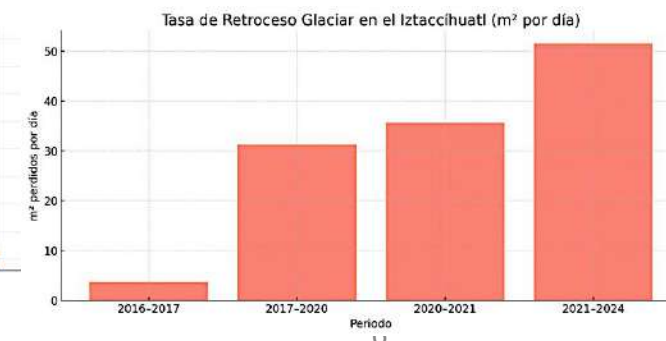
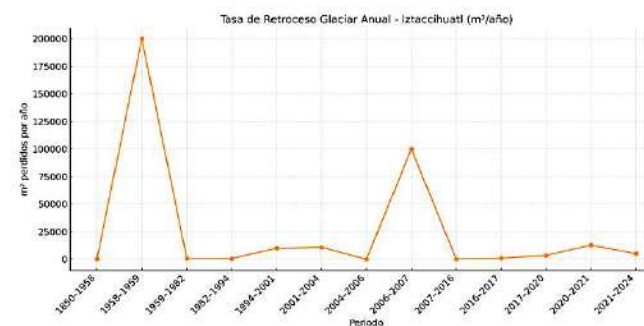


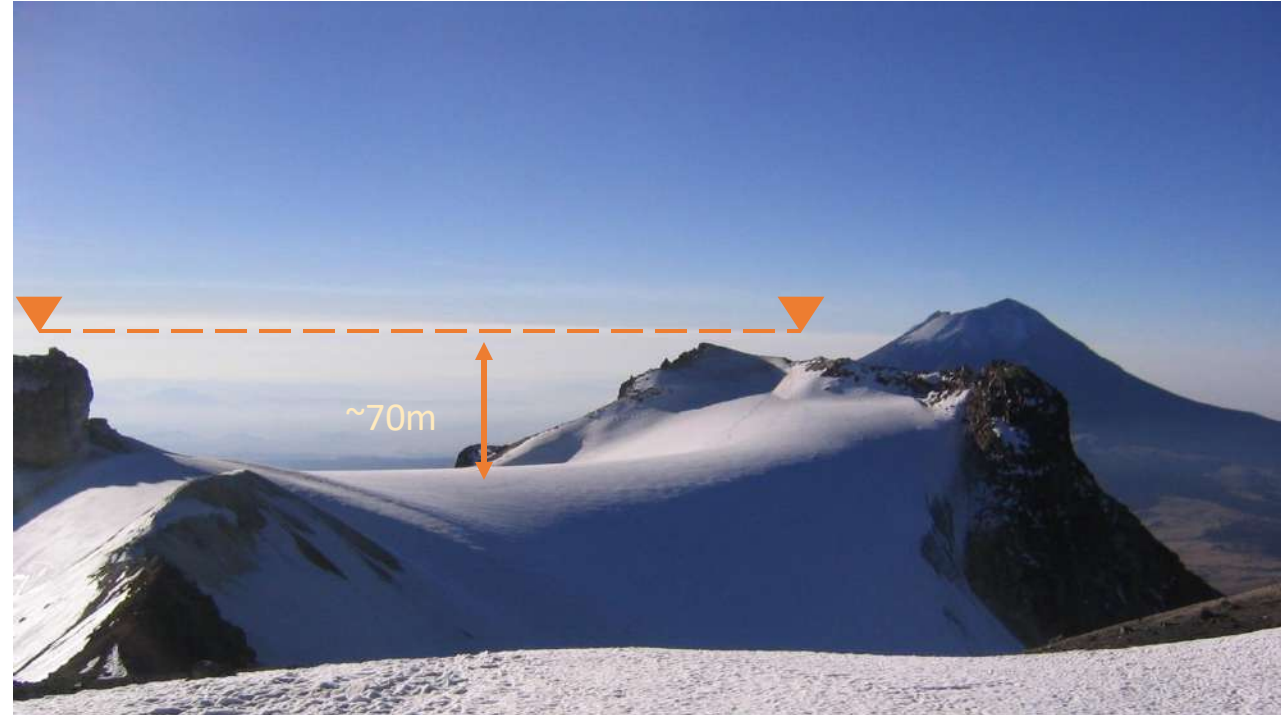
Inventario glacial



Iztaccíhuatl

Año	La Panza	Pecho	Total	Área restante	Fuente
1850	-	-	6.369	100%	D. Schneider et al.
1959	0.623	0.746	1.369	21.50%	D. Schneider et al.
1958	S/D	0.480	1.164	-	Jose Luis Lorenzo
1982	0.432	0.431	0.863	13.60%	D. Schneider et al.
1994	0.276	0.336	0.612	9.60%	D. Schneider et al.
2001	0.233	0.202	0.435	6.80%	D. Schneider et al.
2004	0.207	0.184	0.391	6.10%	D. Schneider et al.
2006	0.171	0.134	0.305	4.80%	D. Schneider et al.
2007	0.140	0.133	0.273	4.30%	D. Schneider et al.
2016	0.080	0.124	0.204	4.16%	Este estudio
2017	0.084	0.119	0.203	3.60%	Este estudio
2020	0.058	0.112	0.170	3.03%	Este estudio
2021	0.055	0.102	0.157	2.80%	Este estudio
2024	0.021	0.089	0.110	2.12%	Este estudio
Entre 1850 y 2024, se perdió un total de:			6.259	98.27%	
Entre 1958 y 2024, se perdió un total de:			1.054	90.54%	









Estos glaciares son sumamente vulnerables ante las anomalías y variaciones del clima



Iztaccihuatl
(5286 msnm)

Estado actual:
Remanentes estáticos de hielo
protegidos por paredes



Agosto 2019



Junio 2024



$\text{Agt}_{\text{EP-2024}} = 0.089 \text{ km}^2$

$\text{Agt}_{2024} = 0.110 \text{ km}^2$



geofísica
UNAM



$\text{Agt}_{\text{LP-2024}} = 0.021 \text{ km}^2$

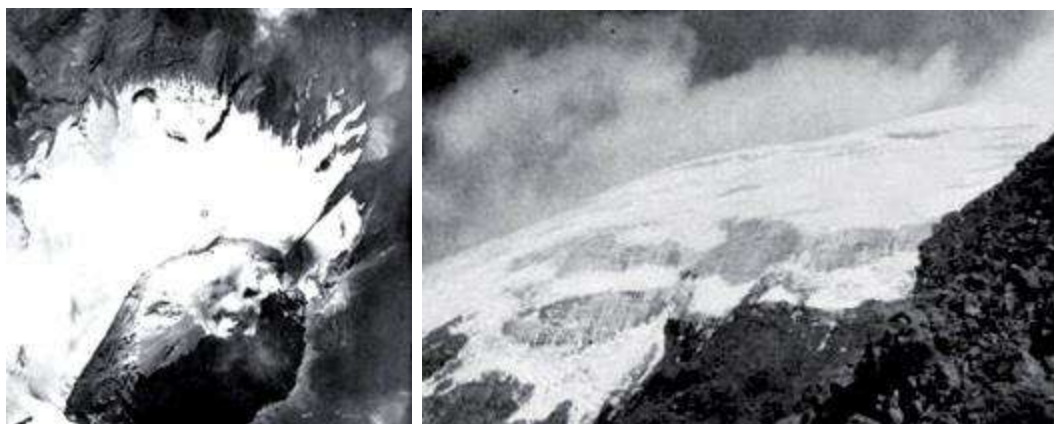
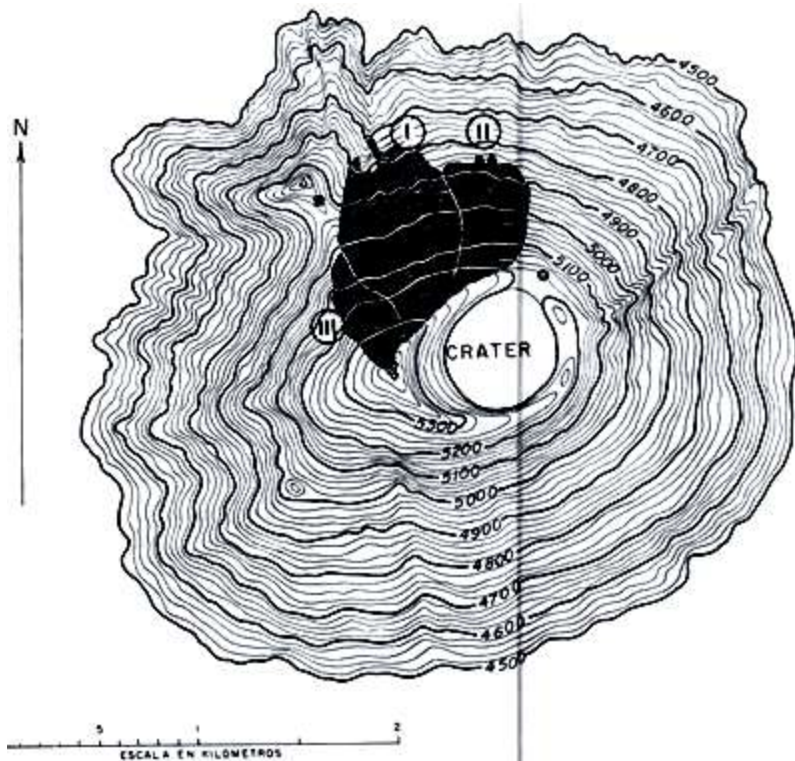


Glaciar Ayoloco, declarado extinto en 2018

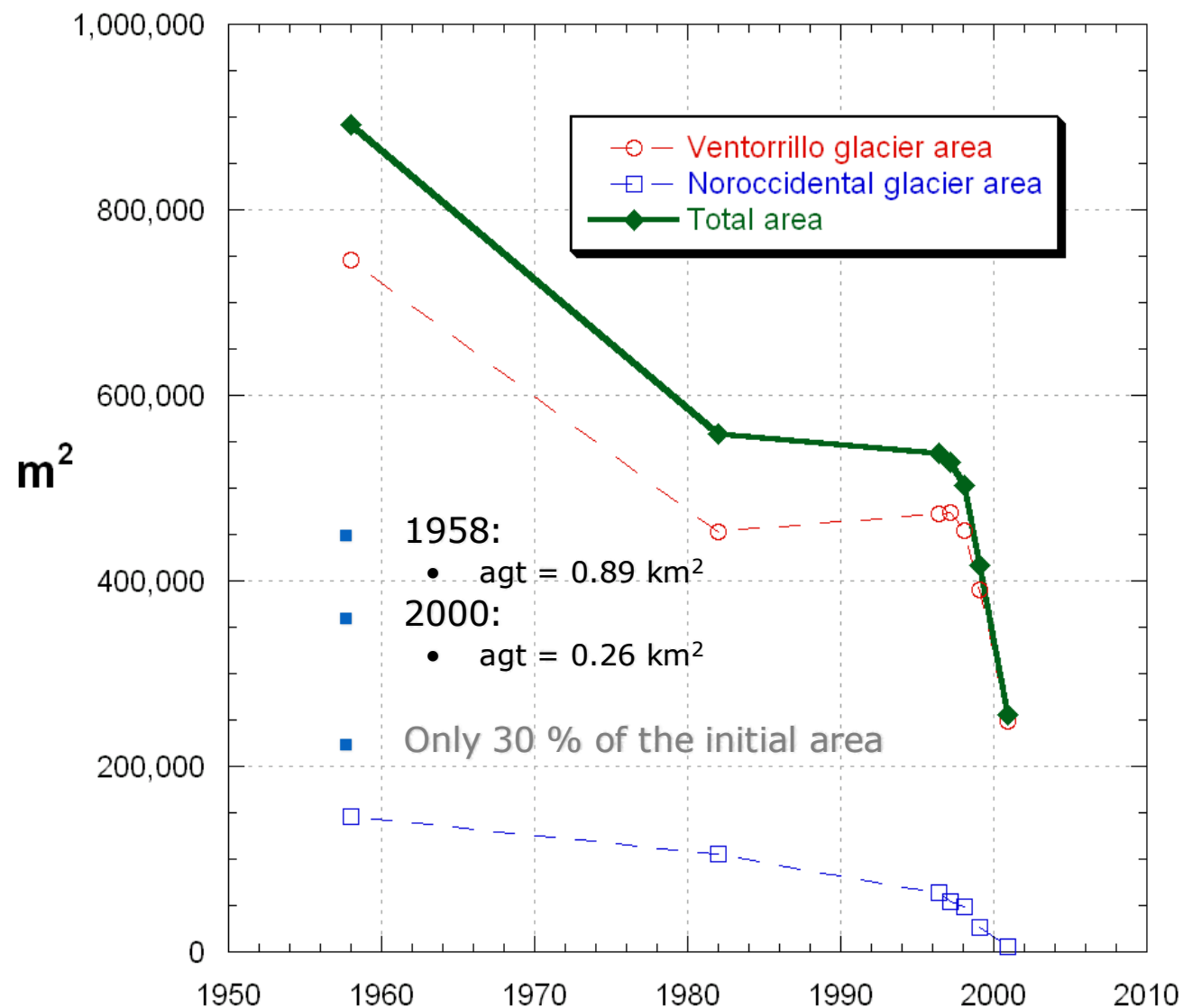
En el siglo XX, hubo glaciares en las 3 montañas más altas de México

- Iztaccíhuatl (5286 msnm) 45 km al SE de la Ciudad de México
- Popocatépetl (5420 msnm) 60 km al SE de la Ciudad de México
- Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5640 msnm)





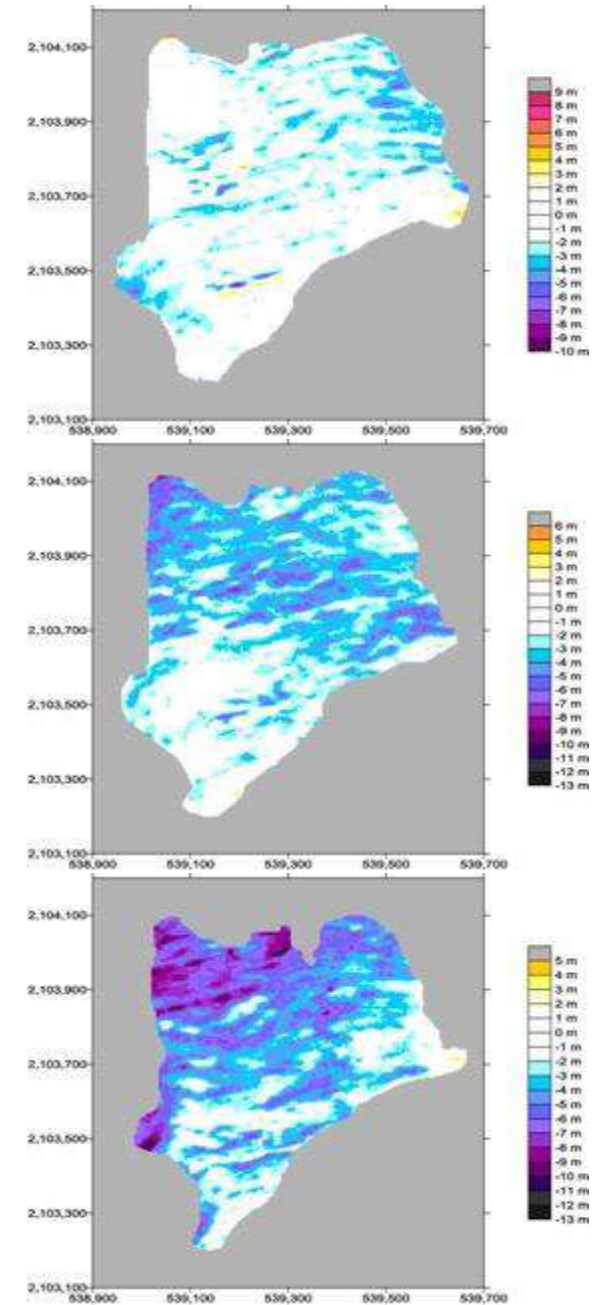
Área glaciada por año

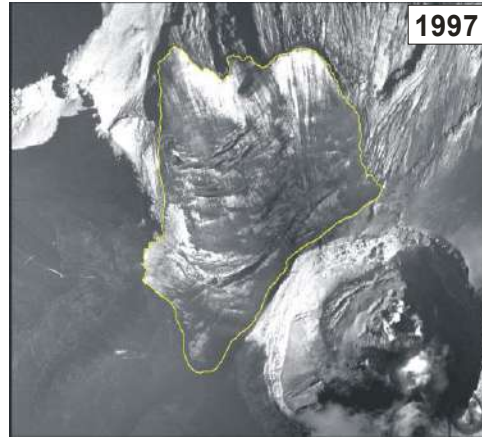
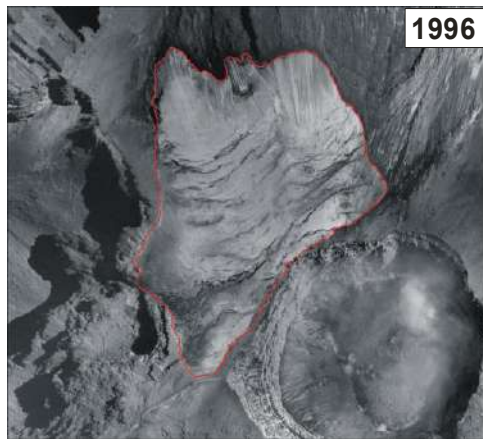


- El retroceso 1958 – 1996 fue el 56 % del total
- Pero del 44 % en sólo 4 años

Balances de masa

- Resta de MDT de un año a otro dan como resultado el balance de masa anual
- Los glaciares del Popocatepetl declarados extintos en el año 2000





Tasas de retroceso

- ◆ 1958 – 1982 = 13,870 m²/año
- ◆ 1982 – 1996 = 1,540 m²/año
- ◆ 1996 – 1997 = 12,480 m²/año
- ◆ 1997 – 1998 = 25,120 m²/año
- ◆ 1998 – 1999 = 90,000 m²/año
- ◆ 1999 ~ 2001 = 86,250 m²/año



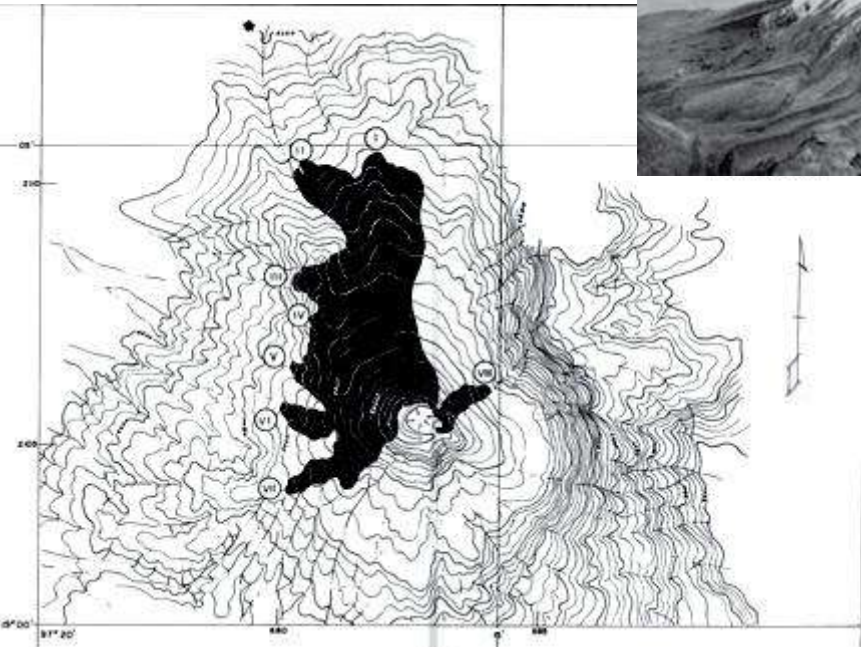


En el siglo XX, hubo glaciares en las 3 montañas más altas de México

- Iztaccíhuatl (5286 msnm) 45 km al SE de la Ciudad de México
- Popocatépetl (5420 msnm) 60 km al SE de la Ciudad de México
- Citlaltépetl o Pico de Orizaba (5640 msnm)



La **evolución** del Glaciar Norte del Citlaltépetl ha sido documentada a partir de la década de **1950** cuando su límite inferior alcanzaba una altitud de 4,640 msnm



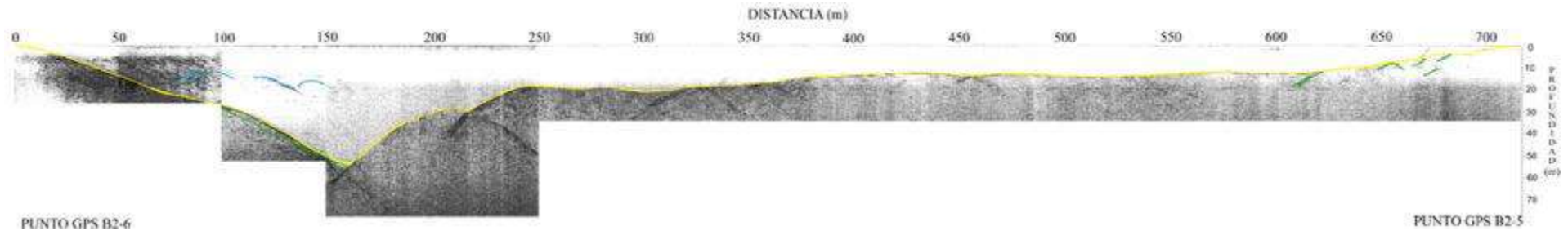
La evolución se estudia observando:

- Cambios en altitud del límite inferior
- Cambios en la superficie total
- Balance de energía en superficie
- Estimación de la temperatura interna
- Perfiles de radar de penetración

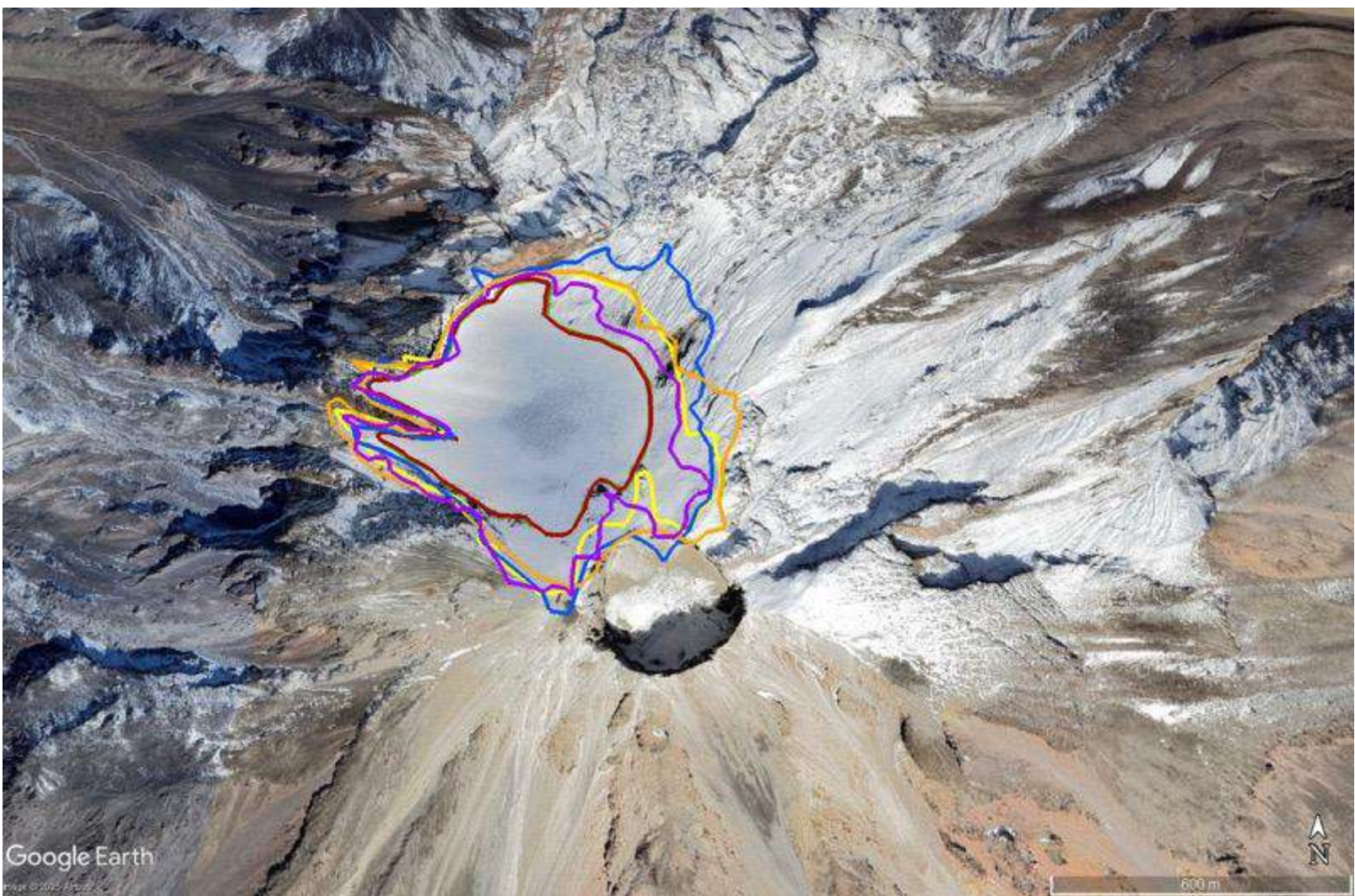


Estudios con GPR

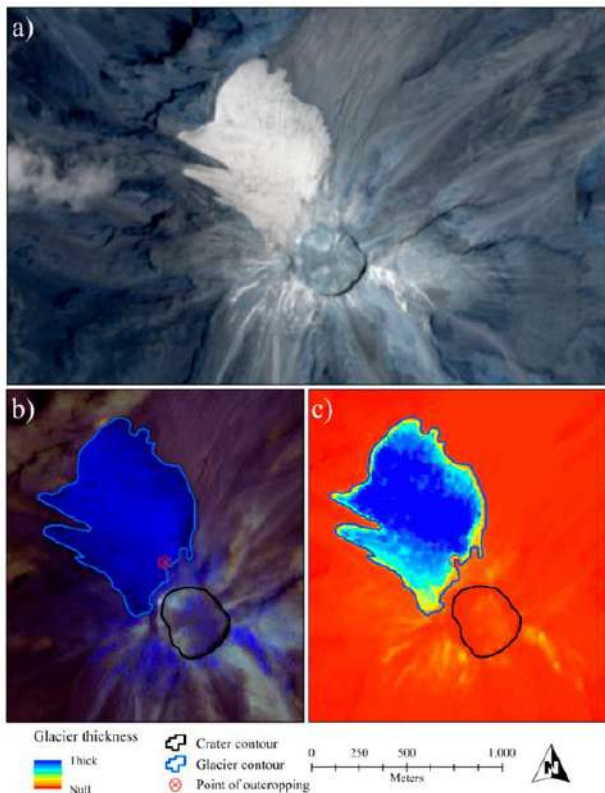
- Espesores máximos de 40 m
- Espesor promedio de 20 m



Retroceso de los glaciares del Citlaltépetl

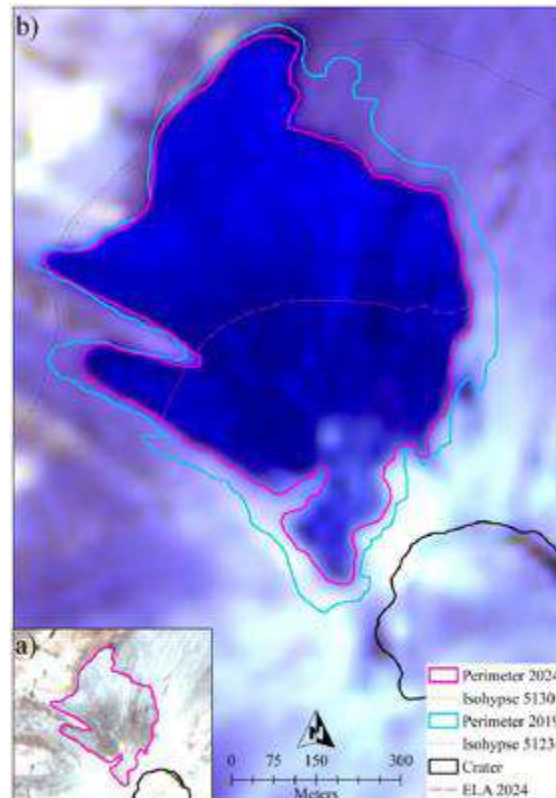


Identificador	Fecha	Extensión
Azul	2003	0.702 km ²
Naranja	2014	0.681km ²
Amarillo	2016	0.602 km ²
Morado	2019	0.547 km ²
Verde	2023	0.373 km ²
Rojo	2024	0.370 km ²
Total del área glaciär perdida entre 2003 y 2024		0.332



0.46 km²

Límite glaciar en 2019 (Izquierda) y en 2024 (Derecha)



0.37 km²

Promedio anual de retroceso ~3% (1958-2010)

0.60 km² (2017)

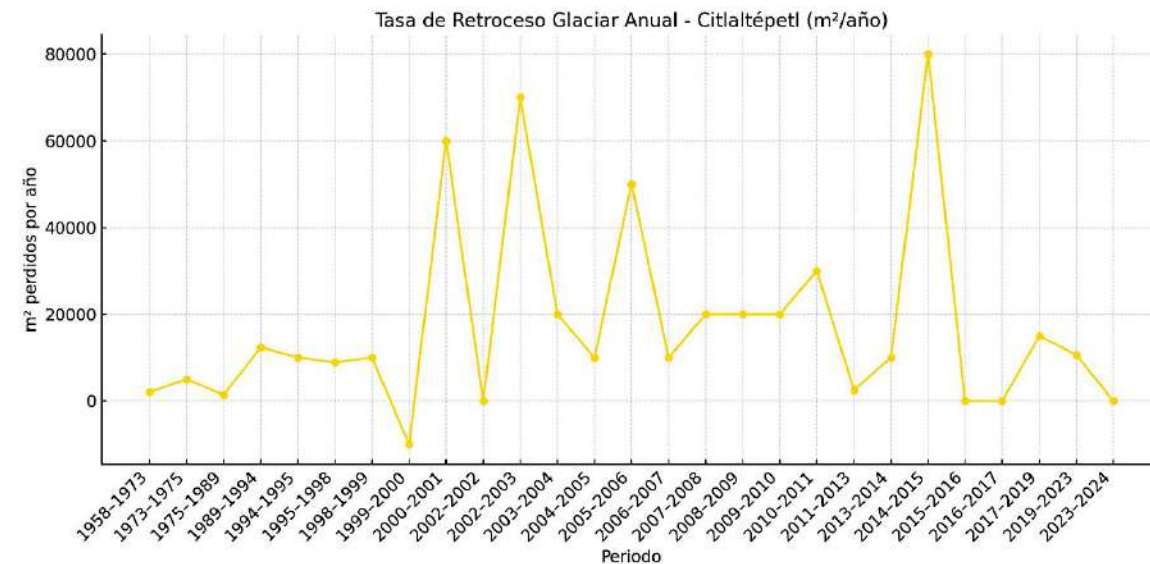
0.46 km² (2019)

-23% en 2 años

0.46 km² (2019)

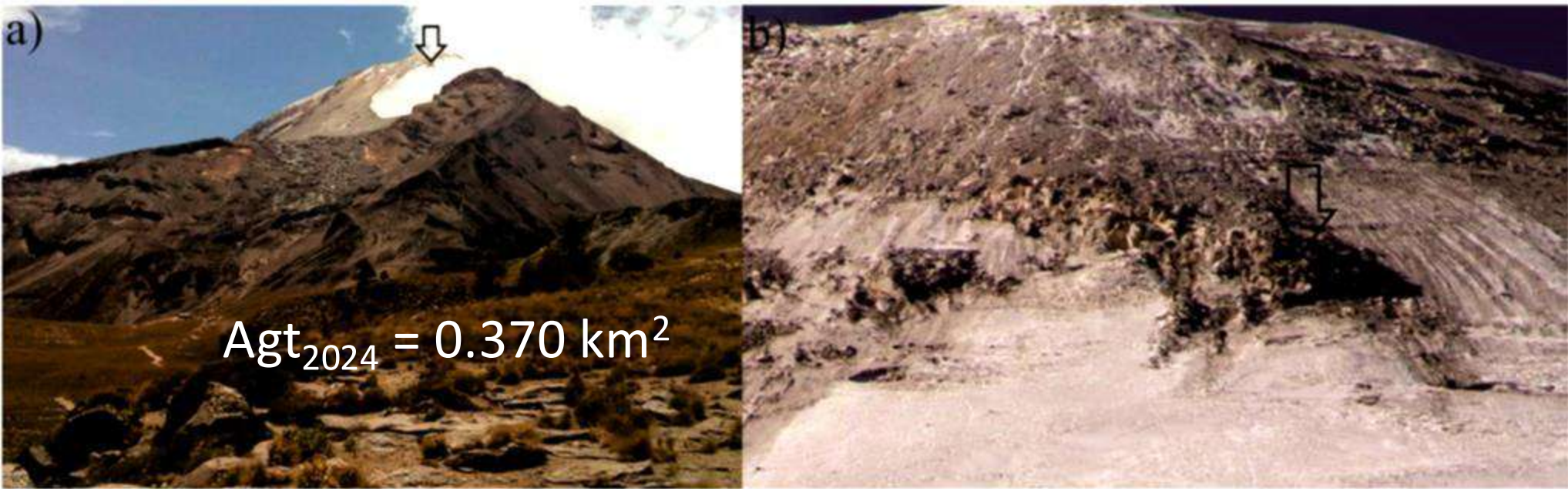
0.37 km² (2024)

-20% en 5 años



Citlaltépetl (Glaciar Norte)		
Año	(km ²)	Fuente
1958	2.04	Jorge Cortés
1973	1.58	Jorge Cortés
1975	1.56	Jorge Cortés
1989	1.29	Jorge Cortés
1994	0.98	Jorge Cortés
1995	0.97	Jorge Cortés
1998	0.89	Jorge Cortés
1999	0.88	Jorge Cortés
2000	0.89	Jorge Cortés
2001	0.83	Jorge Cortés
2002	0.77	Jorge Cortés
2003	0.70	Jorge Cortés
	0.70	Este estudio
2004	0.68	Jorge Cortés
2005	0.67	Jorge Cortés
2006	0.62	Jorge Cortés
2007	0.63	Jorge Cortés
2008	0.61	Jorge Cortés
2009	0.63	Jorge Cortés
2010	0.65	Jorge Cortés
2011	0.68	Jorge Cortés
2013	0.69	Jorge Cortés
2014	0.68	Jorge Cortés
	0.68	Este estudio
2015	0.60	Jorge Cortés
2016	0.60	Jorge Cortés
	0.60	Este estudio
2017	0.60	Jorge Cortés
2019	0.54	Este estudio
2023	0.37	Este estudio
2024	0.37	Victor Soto
	0.37	Este estudio
Entre 1958 y 2024, el Glaciar Norte perdió un total de:		1.67 km ² 81.86%

Retroceso glaciar en la parte superior del Citlaltépetl



Fotografías tomadas desde la vertiente norte durante septiembre de 2019. La fotografía (a) fue tomada a 4050 msnm; la fotografía (b) fue tomada desde un vuelo en parapente. La flecha muestra el punto más alto del lecho rocoso (punto de afloramiento) en la zona de acumulación y su altura en relación con la superficie adyacente.

Conclusiones

- Los glaciares del Citlaltépetl retroceden fuertemente debido a cuestiones climáticas y actividad volcánica
 - Sólo existe un glaciar de las ocho masas reportadas en 1958
 - $Agt = 0.370 \text{ km}^2$
- Los glaciares del Popocatepetl se extinguieron debido a cuestiones climáticas y la erupción volcánica
 - No existe ninguno de los tres reportados en 1958
- Los glaciares del Iztaccíhuatl se encuentran cerca de su extinción debido a cuestiones climáticas
 - La altitud de los glaciares se encuentra debajo de la línea de equilibrio
 - Solo dos glaciares restan de las nueve masas de hielo reportadas en 1958
 - $Agt = 0.110 \text{ km}^2$
 - Uno de ellos (Glaciar de La Panza) se dividió en dos masas de hielo en 2024 reduciéndose el área y el espesor
- $Agt_{\text{en México}} = 0.480 \text{ km}^2$
- En ~ 5 años más, es probable que no haya más glaciares en México



CELEBRA POR PRIMERA VEZ EL DÍA MUNDIAL DE LOS

GLACIARES

21 DE MARZO DE 2025



2025
Año Internacional
de la Conservación
de los Glaciares

Década de Acción por las Ciencias Criosféricas
(2025-2034)

Gracias



geofísica
UNAM

