



Universidad **César Vallejo**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Revisión Sistemática: Análisis de Métodos de Monitoreo del
Retroceso Glaciar en el Sistema de los Himalayas

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Chuquihuanga Chamba, Luis Miguel (orcid.org/0000-0002-7584-3710)

Miñan Peña, Milagros Maria (orcid.org/0000-0002-0959-6037)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios, a nuestras familias, amigos y compañeros, por su apoyo incondicional durante nuestro proceso de formación profesional.

Agradecimiento

A Dios, por regalarnos día a día una nueva oportunidad de seguir luchando para conseguir nuestras metas. A nuestras familias, por su entera confianza y apoyo desinteresado de inicio a fin.

Índice de Contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
Índice de Tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	36
3.1 Tipo y diseño de investigación	36
3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	36
3.3 Escenario de estudio.....	41
3.4 Participantes	41
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.6 Procedimiento	41
3.7 Rigor científico.....	42
3.8 Método de análisis de datos	43
3.9 Aspectos éticos	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES	65
VI. RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS	67
ANEXOS.....	78

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de antecedentes	4
Tabla 2. Resumen de las características de los principales satélites	35
Tabla 3. Tabla de matriz apriorística.....	37
Tabla 4. Comparación de métodos de monitoreo glaciar	46
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los métodos de monitoreo: Glaciológico, geodésico y teledetección	51
Tabla 6. Métodos de monitoreo del retroceso glaciar según autores	56
Tabla 7. Descripción de satélites utilizados por medio de teledetección	59

Índice de gráficos y figuras

Figura 1.	Mapa de Himalaya Sensus Stricto.....	22
Figura 2.	Mapa del Karakórum	22
Figura 3.	Mapa de Hindú Kush	23
Figura 4.	Cambios en las propiedades de los glaciares	25
Figura 5.	Teledetección	28
Figura 6.	Cronología de satélites Landsat	31
Figura 7.	Representación de Sentinel-2.....	32
Figura 8.	Diagrama de procedimiento.....	42
Figura 9.	Esquema general de la zona de acumulación y ablación de un glaciar.	49
Figura 10.	Estimación de porcentaje de artículos empleados según subcategorías	57

Resumen

Actualmente estamos viviendo una de las demostraciones más grandes de nuestra madre naturaleza frente al cambio climático, diversas consecuencias que afectan no solo al ambiente, también a la población las cuales se dan por sentadas a medida que avanza el tiempo. Estas consecuencias no son más que el conjunto de diversos factores que han alterado nuestro ecosistema. Los glaciares y las cadenas montañosas se ven afectadas de manera casi catastrófica, lo que trae consigo la pérdida de volumen y la cubierta del hielo que lo conforman, lo que significa un grave problema para el medio y la humanidad. Para ello, es importante y necesario que se realicen estudios constantes que nos ayuden a entender, vigilar y monitorear el retroceso de estos glaciares y los cambios drásticos que ocurren con el paso de los años. Afortunadamente, existen métodos y maneras las cuales son de ayuda fundamental para poder realizar estas estimaciones, sin embargo, algunos de ellos no son tan eficientes y las condiciones para realizar estos estudios son deficientes o incluso hasta peligrosos. En este estudio, analizaremos los métodos que se utilizan actualmente para medir el retroceso de estos glaciares y cuál de ellos es el más factible por su nivel de precisión al momento de realizar las mediciones correspondientes.

Palabras clave: Himalayas, retroceso glaciar, monitoreo glaciar, cambio climático, balance de masa, teledetección.

Abstract

We are currently experiencing one of the greatest demonstrations of our mother nature in the face of climate change, diverse consequences that affect not only the environment, but also the population, which are taken for granted as time goes by. These consequences are nothing more than the set of diverse factors that have altered our ecosystem. Glaciers and mountain ranges are affected in an almost catastrophic way, which brings with it the loss of volume and ice cover, which means a serious problem for the environment and humanity. For this reason, it is important and necessary to carry out constant studies to help us understand, monitor and supervise the retreat of these glaciers and the drastic changes that occur over the years. Fortunately, there are methods and ways which are of fundamental help to be able to make these estimates, however, some of them are not so efficient and the conditions to carry out these studies are deficient and even dangerous. In this study we will analyze the methods that are currently used to measure the retreat of these glaciers and which of them is the most feasible for its level of accuracy at the time of making the corresponding measurements.

Keywords: Himalayas, glacial retreat, glacial monitoring, climate change, mass balance, remote sensing.

I. INTRODUCCIÓN

Los glaciares en el Himalaya y sus áreas circundantes que se denominan en el idioma inglés como: *High Mountain Asia* (HMA), constituyen el área glaciaria más grande del planeta tierra, exceptuando las regiones polares (Bolch et al., 2012, ;Ye et al., 2015). Este sistema suministra agua dulce a los ríos (Ganges, Indo, Brahmaputra, Yamuna y Yangtsé) de manera constante, representando un rol importante en el ciclo hidrológico global (Evans, 2014; Peterson, 2000 ; Chahine, 1992), manteniendo los niveles globales del mar, debido a que la mayoría de estos cuerpos de agua, se originan en los glaciares (Raup et al., 2007).

Los glaciares están presentando una fuerte disminución en el suministro de agua a causa del deshielo (Barnett, Adam, Lettenmaier, 2005), el cual ayuda a sostener a más de 750 millones de personas y la economía de los países involucrados (India, China, Pakistán, Nepal, Bután) al proporcionar agua para riego de cultivos, energía hidroeléctrica, consumo humano, saneamiento e industria (Immerzeel W.W., 2010; Pritchard, 2017). La mayoría de los glaciares del sistema de Himalayas vienen retrocediendo entre 5 a 20 metros anualmente, lo cual muestra un balance negativo (Wagnon 2007; Kulkarni 2004; Dobhal 2013; Azam et al., 2018), este retroceso contribuye al aumento del nivel medio global del mar con un 27 ± 22 mm, desde 1961 hasta 2016. Los cambios que se producen en los glaciares son indicadores claves de la sensibilidad que tienen estos frente al cambio climático (Zemp, 2019); y la principal razón de estos son las actividades antropogénicas que se dan año tras año en todo el mundo (Kumar et al., 2019; Bhambri et al., 2017).

La afectación de los glaciares frente al cambio climático comúnmente es compleja, variada y multidimensional, la cual se representa mediante la alteración de diversos parámetros: la geometría (área y longitud), cobertura de escombros, *Velocidad de Hielo Superficial (SIV)*, *Cambio en la Elevación de la Superficie (SEC)*, *Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA)/ Radio de Acumulación de Superficie (AAR)*, el desarrollo y la extensión de lagos supraglaciales (estanque de agua situado en la parte superior del glaciar) y proglaciales (lago formado por agua de deshielo) (Garg et al., 2017; Neckel, Loibl, Rankl 2017; Bhattacharya et al., 2016; Scherler, Bookhagen, Strecker 2011; Kulkarni et al., 2011).

La comprensión de la disponibilidad a un plazo extendido de los recursos hídricos en condiciones climáticas cambiantes se transforma en una tarea esencial para las estrategias de planificación y adaptación que se quieran plantear en el futuro (Singh et al., 2020).

En el contexto del aumento de las temperaturas a nivel mundial, el monitoreo de los glaciares realizados en el tiempo es de vital importancia para la comprensión de los efectos del calentamiento global (Haeberli, 2007).

Para realizar estos monitoreos encontramos dos tipos: in situ, se ven interferidos por la lejanía, el terreno accidentado que en varias ocasiones quedan inaccesibles y, además la escasez de apoyo logístico en la región del Himalaya, las cuales dificultan la realización del monitoreo sobre la superficie de estos glaciares (Shukla, Garg, 2020; Das, 2019; Bhambri, 2011; Bolch et al., 2012; Garg et al., 2021).

Con el avance de la tecnología geoespacial el monitoreo de glaciares ahora se puede llevar a cabo en zonas de difícil acceso con mayor efectividad y amplitud; gracias a las imágenes de *Remote Sensing (RS)*, Digital Elevation Model (*DEM*), Geographic Information System (*SIG*) y *Global Positioning System (GPS)*, podemos medir las características físicas de los glaciares que incluyen las formas, longitud, cambios de elevación de superficie, *Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA)*, la superficie, balance de masa, velocidad, y otros (Paul 2013; Shukla 2020; Murtaza 2017; Dehecq, 2015; Seif, 2014; Ashraf, 2012; Racoviteanu, 2008; Scherler, Bookhagen, Strecker, 2011).

Esta investigación busca recolectar, comparar y analizar información acerca de los métodos que se utilizan para monitorear el retroceso de los glaciares, debido a que el cambio climático los está afectando de manera acelerada en los últimos años. Este estudio, podría ayudar como un referente para futuras investigaciones de carácter nacional e internacional, incluso siendo aplicada en otras áreas distintas a las que se aplicó esta investigación, es por ello que se propone como problema general: ¿Cuál es la efectividad de las metodologías de monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas?, por consiguiente, los problemas específicos son:

- PE1: ¿Cuáles son los métodos que se aplican para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas?
- PE2: ¿Qué metodología es la más empleada para monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas?
- PE3: ¿Cuál es el método más eficiente para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas?

La investigación se justifica de manera teórica porque desarrolla nuevos enfoques teóricos que explican la disminución de la masa y el volumen con estas metodologías, asimismo explica los nuevos métodos de monitoreo glaciar de un modo práctico para seleccionar el mejor procedimiento, planteando como objetivo general lo siguiente: Comparar los métodos de monitoreo de retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas.

Como objetivos específicos tenemos:

- OE1: Describir los métodos que se utilizan para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas.
- OE2: Identificar la metodología más empleada para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas.
- OE3: Determinar la eficiencia de los métodos de monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas.

II. MARCO TEÓRICO

Se detallan los antecedentes en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Tabla de antecedentes*

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
1	Azam et al., 2018	Utilizamos el método de Teledetección, junto a una serie de balance de masa y mediciones geodésicas para analizar los cambios en el glaciar.	Con respecto a la pérdida de masa en los glaciares, se obtuvo una elevación en la cubierta de escombros, el crecimiento de lagos glaciares y una disminución de velocidad del hielo; por otro lado, el glaciar presenta balances de masa casi equilibrados.
2	Cao et al., 2019	Utilizamos imágenes de satélite multitemporales y estudiando Modelos de Elevación Digitales (<i>DEM</i>) basados en mapas topográficos y datos satelitales de ZY-3.	Se demostró que, desde 1972 hasta 2016, la cobertura de los glaciares disminuyó en 41,1 km ² , dejando solo 62,1 km ² existentes en 2016. La tasa de cambio de la superficie del glaciar fue de -18,7±1,2m (-0,43±0,03m por año) durante dicho período.

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
3	Dobhal et al., 2021	Presentamos una serie de observaciones terrestres del balance de masas y del cambio de longitud del glaciar Dokriani durante el período de 1992 al 2013.	La variabilidad del balance de masas de dos diferentes períodos de estudio (es decir, 1992-2000 y 2007-2013) muestran consistencia. El glaciar tiene un valor más alto de AAR_n (67%) que se atribuye a un área de acumulación más amplia. La tasa de recesión de 21 metros durante 2007-2013 es ligeramente superior a la tasa de retroceso de 18 metros durante 1992-2000 sobre 16 metros durante 2000-2007. Los cambios morfológicos del glaciar, incluyen una reducción del 14% del área total.
4	Garg, Shukla, Jasrotia, 2019	Seleccionamos 23 glaciares representativos de la región y se utilizaron datos adquiridos de forma remota del Landsat- <i>TM/ETM/OLI</i> (1991-2017) y Terra- <i>ASTER</i> (2007-2017) junto	Durante 1991-2015 los glaciares estudiados retrocedieron significativamente ($17,78 \pm 2,06$ m por año). Los glaciares se ralentizaron (en un 24,90%) con un crecimiento

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		con los Modelos de Elevación Digital (<i>DEM</i>) para la extracción de los diversos parámetros.	considerable en 23,81% y área ($48,78 \pm 2,23\%$) de lagos glaciares. También exhiben una disminución notable ($77 \pm 0,08\text{m}$ anualmente) durante 2000-2017.
5	Garg et al., 2022	En el presente estudio, contamos con registros de <i>Balance de Masa (MB)</i> glaciológicos desde 1993-2013, pero estas se amplían hasta 2014, y para compararlo con él, se calcula el <i>MB</i> geodésico para el período 199-2014 utilizando la elevación digital de alta resolución Cartosat-1 y el <i>MDE SRTM</i> .	Los resultados muestran que el balance de masa glaciológico medio ($0,34 \pm 0,2 \text{ m}$) es más negativo que el balance de masa geodésico ($0,23 \pm 0,1 \text{ m}$) para el período 1999-2014. Esto se debe probablemente a la representación parcial de los márgenes de los glaciares en el balance de masa glaciológico, donde la fusión es sorprendentemente más baja debido a la gruesa cubierta de escombros ($>30\text{cm}$).
6	Garg et al., 2021	Reconstruimos los registros de balance de masa superficial anual de 75 glaciares (tamaño $>1\text{km}^2$) en la subcuenca del	Los resultados sugieren un persistente balance de la masa negativa de los glaciares (promedio:

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		Suru en el Himalaya occidental, para el período 1994-2018. Aplicamos una línea de equilibrio basada en la teledetección, con el apoyo de estimaciones de balance de masa geodésico (para 18 glaciares principales y mediciones de campo limitadas)	2 puntos – 0,69±0,28m anuales) durante el período de estudio, esta pérdida de masa global coincide con un aumento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones, en un 4%) durante 1994-2018, lo que demuestra la sensibilidad de estos glaciares frente al cambio climático.
7	Huang et al., 2021	Utilizamos un método “compuesto Índice de Masa de Nieve Normalizado (<i>NDSI</i>) mínimo multitemporal” para la extracción de glaciares limpios y nieve no estacional. Con ello, podemos utilizar abundantes imágenes Landsat de estaciones de verano de años continuos para componer una imagen glacial libre de nubes y de nieve estacional.	El mapa del glaciar limpio y el área de nieve no estacional en <i>HMA</i> disminuyó en un -0,43±0,19% durante 1990-2018, el área de glaciar limpio y de nieve no estacional disminuyó rápidamente durante 1990-2000, se ralentizó durante 2000-2010 y luego se aceleró durante 2010-2018.
8	Ke et al.,2020	Se realizó la estimación del balance de masa de los glaciares del Sureste de la Meseta Tibetana (<i>SETP</i>) a partir de	Los resultados revelan que las diferencias de elevación del TanDEM-X-SRTM, brindan

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		fuentes de Modelos de elevación digitales multitemporales (SRTM, TanDEM-X y AW3D), datos ASTER y datos de elevación de ICESat. Para poder facilitar las comparaciones entre estos, se reprocesaron los datos actualizando las referencias sobre los glaciares y lagos.	información confiable sobre el cambio de elevación. A escala regional los conjuntos de datos geodésicos (datos de tasas de cambios de elevación ASTER, TanDEM-X, SRTM, IceSat) lograron una estimación muy confiable, durante los años 2000-2010. En la escala subregional, los dos conjuntos de datos geodésicos revelaron un gran contraste en el adelgazamiento moderado de los glaciares.
9	Kumar, Dhirendra et al., 2021	Utilizamos imágenes satelitales de alta resolución de CORONA KHA (1968), LISS IV (2012) y SENTINEL-2 MSI (2019), junto con imágenes de resolución media LANDSAT/TM (1990) SRTM (2000) para llevar a cabo la investigación.	Durante los años 1968 a 2019 el morro del Swetvarn perdió 623mt de longitud total con una tasa de retroceso de 12,21m por año, mientras que el morro del glaciar Thlu perdió 590m de longitud total (11,56m por año). Alrededor del

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			16,60% de la superficie glaciar del Swetvarn y el 24,50% de glaciar Thlu también desaparecieron por completo entre 1968 y 2019. Durante este tiempo, la zona de ablación también muestra un desplazamiento de 160mt hacia arriba para el glaciar Swetvarn y 145 mt para el glaciar Thlu, respectivamente.
10	Kumar, Vinit et al., 2021	Comparamos las estimaciones de diferentes imágenes temporales del satélite KH-9 (1980) con Landsat-5/TM (1989) Landsat-7/ETM+(1999), Landsat-8 OLI/TRIS (2017) y ASTER DEM (2011) con las condiciones meteorológicas locales.	Nuestro estudio revela que los glaciares del valle perdieron 26km ² (10%) de la superficie glaciar entre 1980-2017. El área total glaciada en 2017 es de 217km ² lo que es 26% del área total.
11	Li, Lin, Ye, 2018	En este estudio analizamos cinco pares de imágenes y estáticas de banda X Terra Sar/TanDEM-X del 2011-2014 para el monte Everest. Se empleó un método	La pérdida de masa glaciar fue heterogénea. Es posible que la heterogeneidad regional refleje las tasas de cobertura de escombros, el

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		D-inSAR interactivo que son utilizados en interferogramas SAR Biestáticos de línea de base múltiple, lo que aumentó la confiabilidad y precisión de las observaciones de cambio de altura de los glaciares.	tipo de terminación, las tasas de aumento de la temperatura y las tasas de flujo de los glaciares. La comparación con datos geodésicos de balance de masa de glaciares de período largo proporcionados por estudios anteriores desde 1970 reveló que nuestros resultados mostraron aumentos más rápidos en las tasas de pérdida de masas de glaciares después del 2000, en el área alrededor del glaciar Khumbu en la ladera sur del monte Everest.
12	Li et al., 2017	En este estudio, investigamos el cambio de grosor de los glaciares de toda la región en el <i>Tien Shan Central (CTS)</i> durante el período 2000-2012 mediante la diferenciación de los datos de la <i>Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)</i> con un nuevo DEM construido a	Las montañas más bajas han sufrido un declive glaciar más severo, y los glaciares que enfrentan al viento dominante (vientos del oeste), han sido los más afectados. En general, los glaciares en el Tien Shan Central (CTS) son más estables que los de

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		partir de 27 imágenes TanDEM-X para una superficie total del glaciar de 7239,8±527,2 km ² .	otras partes de Tien Shan. Sin embargo, el estado de estos glaciares sigue siendo alarmante.
13	Li et al., 2019	Se aplicó un modelo de balance de masa y energía distribuido para estudiar las variaciones espaciotemporales del balance de energía y masa en el <i>GIC</i> , y la respuesta del balance de masa al cambio climático.	Los resultados de los modelos revelaron que, en comparación con el glaciar Chongce, que experimentó un balance de masa positivo en la década de 1980, el GIC sufrió una pequeña pérdida de masas con un valor anual de 193±0,042m de agua equivalente, la línea de equilibrio y la altitud ha aumentado aproximadamente 70m para ubicarse en 6000±19m.
14	Liu et al., 2019	Recuperamos el balance de masa glaciar anual del campo de hielo Puruogangri, al diferenciar <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> multitemporales generados con 5 pares de interferométricos sintéticos biestáticos TanDem-X. Imágenes de	El balance de masa observado revela una ganancia de masa glaciar de 0,4±0,10m en 2011-12, seguida de una pérdida acelerada de masa glaciar en 2012-2016. Se estimaron balances de masa de glaciares de

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		<p>radar de apertura (InSAR) adquiridas entre abril del 2011 y enero de 2016. Comparamos los DEM de TanDem-X en enero y abril de 2012 para estimar la diferencia de profundidad de penetración del radar de banda X ($0,61\pm 0,06\text{m}$), lo que permitió la corrección sistemática del sesgo en la estimación del balance de masa glaciar anual.</p>	<p>$13\pm 0,06$ y $0,52\pm 0,10\text{m}$ por año para los períodos 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2016, respectivamente. Esta tendencia acelerada de pérdida de masa de los glaciares probablemente se deba a la disminución continua de las precipitaciones anuales.</p>
15	Liu et al., 2020	<p>Utilizamos un método de seguimiento de característica de imagen aplicado en imágenes satelitales ópticas entre 1989 y 2018.</p>	<p>Mostramos que, junto con una retirada rápida ($51,7\text{m}$ a 1m), y su lengua inferior de 5km experimentando altas fluctuaciones interanuales en la velocidad, que comprenden aceleraciones y desaceleraciones periódicas experimentando altas fluctuaciones interanuales en la velocidad, que comprenden aceleraciones y desaceleraciones periódicas en</p>

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			1989-1995 y 200-2010 y una notable aceleración reciente desde 2012.
16	Majeed et al., 2021	Empleando datos de teledetección complementados con observaciones de campo, se conoció los cambios en los glaciares. Por otro lado, para conocer el volumen y profundidad se empleó el modelo Glabtop (topografía del lecho glaciar); y para el peligro potencial se usó el modelo hidronómico <i>HEC Ras</i> .	Al realizar la evaluación temporal de datos satelitales, se obtuvo un 45,6% de pérdida en el área total del glaciar entre 1969 y 2019. En Glabtop indica que el lago puede aumentar hasta 12ha en el futuro y su reconstrucción mostró que el 25% del lago viciado con caudal máximo de 4700m ³ /s, inundando un área de 4km ² alrededor de Gya Village.
17	Mishra et al., 2022	Hacemos uso de la fotogrametría del <i>Unmanned Aircraft Systems (UAS)</i> para calcular la pérdida de volumen total del glaciar pendiente-perpendicular entre mayo-noviembre de 2019, empleando nubes de puntos modificadas por el flujo.	Se obtuvo un cambio de elevación promedio de 1,10 ± 0,19m, por otro lado, el deshielo medio fue de -0,87m, lo que significa una tasa de deshielo media de -0,47cm. Por lo tanto, el patrón espacial fue muy voluble debido a los complejos

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			procesos locales, por lo que será útil estudiarlos en intervalos cortos.
18	Murtaza et al., 2021	Utilizando una serie de tiempo de los datos satelitales de 1992 a 2018, se buscó estimar los cambios en el área glaciar, el hocico y la <i>Altura de la Línea de Equilibrio (ELA)</i> , de los glaciares existentes en la cordillera del HARMUKH.	La cubierta glaciar retrocedió de $7,47 \pm 0,58 \text{ km}^2$ en 1992 y $6,24 \text{ km}^2 \pm 0,62 \text{ km}^2$ en 2018, mostrando una desglaciación de $16,46 \pm 0,24\%$. Los glaciares mostraron un cambio ascendente en <i>ELA</i> de 47m a 80m durante las últimas dos décadas y media. Las observaciones revelaron que, además de los factores climáticos, el cambio de <i>ELA</i> y la recesión influyen por el tamaño del glaciar, la altitud media y aspecto de los glaciares, además la alta resolución de Google Earth, se utilizó para mapear accidentes geográficos glaciales y geomórficas.

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
19	Narama et al., 2017	Se utilizaron estudios de campo en 2013, 2014 y 2016, empleando un análisis de datos satelitales de 1999 a 2015.	En el glaciar Southern Inylchek, el 94% de los lagos supraglaciales que existen y aparecen durante 2013-2015 drenan durante 3 años, donde la mayoría de los lagos podrían juntarse a la red de drenaje glacial durante 3 años. En cuanto a los niveles de agua, los lagos próximos al nivel base tienden a sincronizar sus niveles de agua estacionales a través de canales en glaciales.
20	Nie et al., 2017	Se utilizó un total de 348 imágenes Landsat a 30m de resolución.	Los resultados demuestran que 4950 lagos glaciares en 2015 cubren un área total de 455,3km±72,7km² ubicada entre los 4000 y los 5000 msnm. Finalmente, los lagos glaciares del Himalaya, se expandieron más en el sur de las laderas del Himalaya central, y tuvo

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			un aumento del agua de deshielo a causa del retroceso glaciar.
21	Nie et al., 2018	Se revisó y verificó más de 60 eventos <i>GLOF</i> históricos en todo el Himalaya, empleando un método integral que fusiona documentación de literatura, archivo de observaciones de teledetección, análisis geomorfológico e investigaciones de campo.	Se descubrieron 3 eventos <i>GLOF</i> no informados a partir de imágenes de teledetección de análisis geomorfológicos de los cuales 11 eventos fueron identificados y recomendados para ser excluidos. Y propiedades de 5 lagos de explosión: Degaco, Chongbaxia, Tesho, Geiqu, Lemthang, Tsho y un lago en el glaciar Tshojo, se corrigieron o actualizaron.
22	Pandey et al., 2018	Utilizamos la tecnología del <i>GPS</i> (coordenadas) para calcular la última posición del Hocico 2014, y una serie de imágenes Landsat.	Se observó un retroceso glaciar acumulativo con registros de 1569, 1m, con una tasa de retroceso glaciar promedio de 51,23m/año en todo el estudio entre (1976-2014). Ahora la tasa de retroceso glaciar se

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			presenta acelerada durante 1976-1994 que en 1999-2014.
23	Pandey, 2019	Se implementó con datos satelitales de alta resolución a través de Google Earth.	Resultó que el inventario reportó 516 glaciares de escombros en el área de estudios relacionados a un área estimada de 353km ² de los cuales, 59% tiene origen glaciar y el 41% origen talud.
24	Rashid et al., 2021	Se efectuó el uso del balance de masa geodésico, y por otro lado, se hizo un análisis empleando Landsat para recopilar datos de albedo y de aerosoles.	Este glaciar perdió un área de 1,88km ² (29%) desde 1972 hasta 2019, con un retroceso frontal de 500m a razón de 10,6m; y su balance de masa geodésica mostró que la superficie glacial disminuyó 43,7m perdiendo 0,215m entre 2000-2011.
25	Shukla, Garg, 2019	Para esta evaluación se utilizó imágenes satelitales de alta resolución (Corona KH-4B y Sentinel-2 MSI) y de media resolución.	Es posible que el aumento de la temperatura mínima invernal medio y la disminución de nevadas, sean probablemente los impulsores del

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			agotamiento de los glaciares a causa del cambio climático.
26	Singh et al., 2020	En esta investigación, se utilizaron modelos de teledetección y SIG, tales como: serie de datos Landsat (<i>MSS, TM, ETM+ Y OLI/TIRS</i>).	Se obtuvo una tendencia general de pérdida en las áreas y volumen de los glaciares con magnitudes variables en diferentes glaciares de la cuenca Baspa en diferentes períodos.
27	Song et al., 2017	Se utilizó el satélite Landsat, para revisar la evolución temporal de 151 lagos del Himalaya, y se clasificaron en 3 categorías: Lagos proglaciales cubiertos de escombros, lagos en contacto con acantilados de hielo, y lagos sin tocar glaciares.	Se muestra que los lagos que tuvieron contacto con escombros, probaron un aumento excepcional del área por 36,5% durante el 2000-2014, por otro lado, las dos últimas formas de los lagos se mantuvieron estables.
28	Taloor et al., 2021	Se utilizó datos satelitales multitemporales de la serie Landsat-1 MSS (1973), Landsat-3 MSS (1980), Landsat-5 TM (1990-2000), Landsat-7	Los resultados demuestran que el hocico del glaciar ha retrocedido a ritmos variables, 80m (con una media de 11,43m anual) desde 1973 hasta 1980, 120m (con una media

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
		ETM+ (2010) y Landsat-8 OLI (2018), desde 1973 hasta 2018.	anual de 12,3m) desde 1990 hasta 2000, 128m (con una media anual de 12,8m) desde 2000 hasta 2010 y 112m (media anual de 14m) desde 2010 hasta 2018.
29	Wei et al., 2021	Realizaron un seguimiento de impactos de recesión, dinámica de glaciares en extensión, y volumen de agua para obtener un enfoque descriptivo de la recepción del glaciar Longasaba, incitándolo a perder masa y su contribución al volumen de agua de su lago proglacial.	Se obtuvo que el área del glaciar disminuyó 3% entre 1988-2018, y un retroceso más variable que la última década, donde el lago Longbasaba creció 164% de superficie y 237% en volumen, causado por vertimiento superficial del glaciar.
30	Zhao et al., 2020	Evaluaron 429 glaciares en la región Kanchenjunga. Se utilizaron métodos geodésicos, inspirado en modelos digitales de elevación (<i>DEM</i>), imágenes Landsat <i>TM/ETM+/OLI</i> , datos Envisat/asar y Sentinel-1.	Obtuvo un cambio promedio de tasas en área glaciar y elevación de superficie en 1975-2015 de $-0,18 \pm 0,7\%$ y $-0,32 \pm 0,02\%$; y las tasas de contracción y velocidad superficial en la cresta malaya fueron: 1,25 y 1,7 veces mayores en

N°	Autores	Metodología/Descripción	Resultados
			las laderas del sur. Finalmente, las tasas de adelgazamiento fueron N<S.

Acorde con los estudios del trabajo de investigación, se tomaron a consideración los siguientes conceptos:

El sistema de los Himalayas, comprende un conjunto de varias cordilleras siendo las tres principales: Himalaya, Karakórum y el Hindú Kush. Las tres juntas suman un total de 3000 km de longitud que va desde el este hacia el oeste, por la parte sur oriental en el continente euro asiático dividiendo a la península de la India del resto del continente. Este complejo sistema de montañas concentra los glaciares más altos del planeta, con altitudes que sobrepasan los 8000 msnm, siendo el monte Everest el pico más alto no solo de la cordillera sino de todo el mundo con una altitud de 8849 msnm (Searle, 2019). A medida que los aumentos de la temperatura global reducen las nevadas y conllevan a la pérdida constante de los glaciares de todo el planeta, los impactos negativos de la disminución de la nieve de los glaciares van a causar una afectación directa a los países involucrados (India, China, Nepal, Pakistan, Afganistán, etc) y con ello también a su seguridad hídrica, la mayoría de ellos dependen de los glaciares que constituyen el sistema de los Himalayas. Se observan situaciones negativas como: aumento del nivel del mar, desaparición de especies, escasez de agua dulce, entre otros. Estas situaciones mencionadas son solo algunos ejemplos de los efectos físicos causados a raíz del aumento de la temperatura global, dicho aumento es el principal responsable de desencadenarse el cambio climático en varias partes de la tierra, siendo los glaciares del mundo uno de los ecosistemas más afectados, esto ocasionará que los países que tienen glaciares se vean altamente vulnerables ante estos cambios. Para abordar esta complejidad de situaciones se debe desde ya iniciar estrategias de adaptación frente al cambio climático y, por consiguiente, un análisis de riesgos que ayuden a prevenir o minimizar daños socioeconómicos, la descarbonización que va a producir riesgos geopolíticos de primera magnitud por la restauración de las economías de las principales potencias mundiales (Hidalgo I., 2021). El retroceso de la masa glaciaria en las montañas de China, por ejemplo, han sido señaladas como muy sensibles al cambio climático sobre todo en la zona oeste de China. En el período de 1961 al 2007 aproximadamente, se vio que un 92% de la zona glaciaria presentaba una vulnerabilidad baja, actualmente el 41,2% de la misma área registra niveles alarmantes de vulnerabilidad frente a la variación climática mundial. Se llega

a la conclusión que la muestra da una tendencia decreciente entre 2030 y 2050 (Jian-Ping Y., 2015).

Figura 1. Mapa de Himalaya Sensu Stricto



Figura 2. Mapa del Karakórum



Figura 3. Mapa de Hindú Kush



Un glaciar es una masa de hielo que ocasiona la transformación del agua en hielo (nieve, granizo o escarcha), consta de tres partes: zona de acumulación la cual posee la cantidad de hielo y nieve acumulada en el lapso de un año hidrológico; zona de ablación es aquella en la que predominan procesos de fusión (hielo perdido en estado líquido), evaporación y sublimación; y la altitud de la línea de equilibrio (ELA) la que separa la zona de acumulación y ablación (Francou, 2008). Tanto la zona de acumulación como de ablación, se encuentran en equilibrio, imaginariamente delimitada por ELA, donde no se da el intercambio de masas que significa sin acumulación ni fusión, ubicados cerca de la zona de isoterma 0°C, entre los 5000 a 5200 m.s.n.m.(Kaser, 1999).

El calentamiento global se percibe mediante el acrecentamiento de la temperatura media anual o estacional, incremento o reducción regional de las precipitaciones y la alta frecuencia de eventos meteorológicos extremos (Rabassa, 2011). Es importante señalar que, durante los últimos años, el cambio en la superficie de los glaciares viene siendo de manera media a considerable debido a las distintas causas las cuales son provocadas por la mano del hombre, originando daños a la naturaleza y parte de ello en los glaciares, que sufren la pérdida de su masa,

volumen y traen además consecuencias para los pobladores que habitan en zonas circundantes a ellos. Se da el concepto de cambio climático a un cambio repentino o a largo plazo con afectaciones directa o indirecta a la actividad humana, por lo tanto, va a provocar una alteración a los compuestos de la atmósfera, la cual también se suma a la variabilidad natural del clima, también conocida como variabilidad climática.

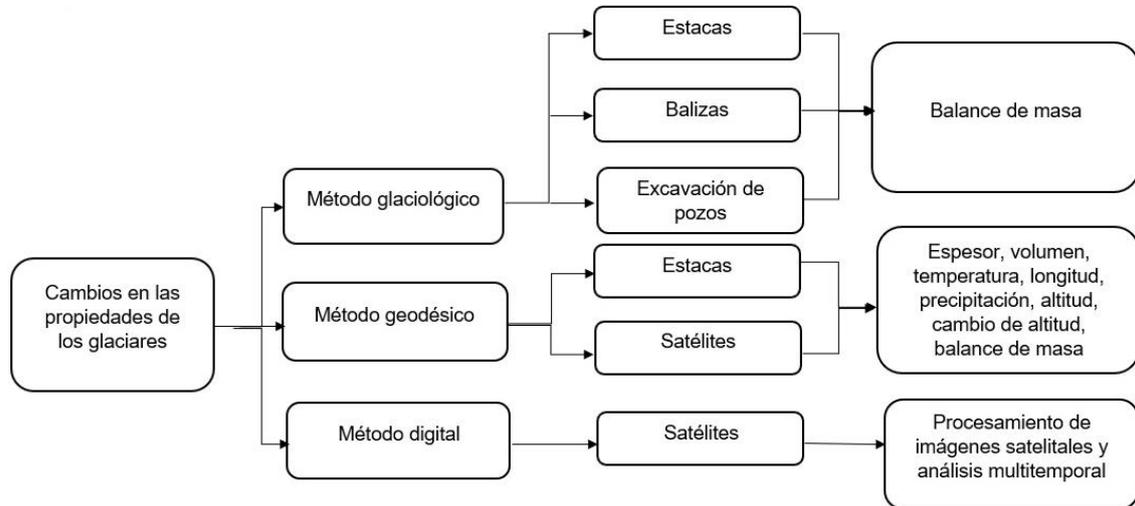
Se puede entender como retroceso glaciar a los cambios en la longitud y las dimensiones que componen al glaciar a causa del desprendimiento en exceso de masa glaciar provenientes de las zonas altas de la montaña. Entre sus consecuencias tenemos: deshielo o desglaciación que provoca la reducción del espesor del glaciar, disminución de su longitud y área; esto debido a que el planeta ha experimentado en los últimos años, el incremento del CO₂, el aumento de la temperatura global en un 1,5%-1,7% (2022-2026), la actividad industrial, el proceso de urbanización y el aumento del sistema de transporte, entre otros, siendo estos los principales factores que han contribuido a la formación de los cambios climáticos y consecuentemente también al deshielo de los glaciares (Chancos Pillaca, 1998).

Un monitoreo se realiza para conocer la dinámica de los glaciares, lo cual implica hacer seguimiento a los parámetros físicos relevantes para lograr identificar: las variaciones de longitud, superficie, volumen, balance de masa glaciológicos, con los cuales se podrá obtener una serie consistente de datos para ser analizados eficientemente. Para poder realizar este procedimiento, es preciso contar con el equipo y/o instrumentos necesarios y calibrados correctamente, los cuales pueden ser materiales sencillos o hasta de la más última generación.

La relación de ganancia o pérdida de masa glaciar, es conocido como el balance de masa glaciar. El balance de masa glaciar es considerado como el bienestar de un glaciar, ya que representa la suma general de toda la acumulación (nieve, hielo, lluvia, granizo) y el deshielo o pérdida de masa de hielo (desprendimiento de iceberg, derretimiento, sublimación en todo el glaciar). Si la cantidad de masa glaciar disminuye de manera acelerada, esto indica un balance de masa negativo, que traerá como resultado la contracción del glaciar; pero en cambio, si la cantidad de masa glaciar recibida aumenta y la cantidad de deshielo permanece igual,

entonces el glaciar se acrecentará dando como resultado un índice de masa positivo. Se utilizan tres métodos para poder medir el retroceso glaciar: glaciológico (estacas, balizas y pozos), el geodésico (mapeo rápido de imágenes, combinado con el método glaciológico) y digital (teledetección).

Figura 4. Cambios en las propiedades de los glaciares



El método glaciológico es el que se realiza con medidas in situ. Ante ello, se toma en varios puntos de un glaciar, la disimilitud de elevación de la superficie de nieve o hielo, almacenada en los instrumentos: balizas o estacas que son monitoreadas de manera sucesiva. Para la colocación de balizas, se necesita que un grupo de operarios acudan directamente al lugar, estas se entierran en la superficie nival manualmente o apoyado de perforadores de buzón o un taladro, para poder obtener resultados sobre los cambios en la superficie del glaciar, se debe medir en cada visita, la altura de la baliza sobre el la superficie, adicional a ello, se registra la densidad del manto superficial en cada baliza, a través de calicata o pozo estratigráfico, finalmente se estima el balance de masa, equilibrando los datos de la altura de nieve por la densidad promedio registrado en cada una de las balizas. Los valores resultantes se promedian para finalmente, obtener un valor de todo el glaciar (Burrough, 2013). Las estacas se pueden construir de distintos materiales, se han utilizado tuberías de plástico (pvc) o metal de unos 2 metros de longitud. Las divisiones se mantienen unidas a través de tapones interiores adheridos a las tuberías, a través de alambres o cables, uniendo cada sección mediante orificios perforados en los lados o a través de agarraderas exteriores. Las estacas de metal,

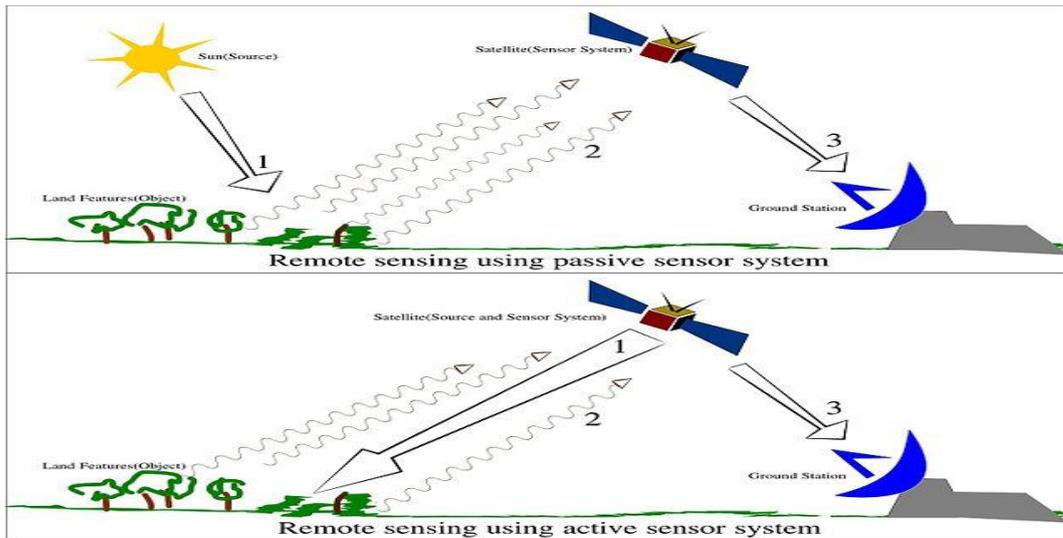
tienen una gran desventaja puesto que, al someterse a temperaturas muy altas, se deslizan de la zona de estudio, reduciendo así la lectura de sus valores reales, por otro lado, las de pvc son quebradizas a bajas temperaturas, por tal motivo se recomiendan el uso de estacas de bambú, estas han demostrado: ser resistentes a los ambientes adversos, poseen baja conductividad, son livianas, económicas y ecológicas. En la mayoría de glaciares, las estacas se disponen de manera más o menos regular sobre el área de ablación, donde su disposición debe estar establecida en la misma posición cada año se refiere a unos 100 metros, esto indica que una estaca se ubica en un diámetro de 50 metros de radios en el glaciar, dentro del cual es poco probable que el balance de masa varíe significativamente, pero en casos de que el glaciar tenga un ancho menor a 500 o 1000 metros, se recomienda utilizar un GPS, para ubicar la posición de inicio. Es recomendable establecer entre 10 a 15 estacas a lo largo de la longitud del glaciar, cubriendo la mayor elevación posible, la red de estacas debe hacerse ya sea en forma de cruz o diamante, colocando las estacas laterales sobre altitudes en similitud a las estacas centrales. La mejor forma de medir la densidad de una capa de masa de hielo, es cavando un pozo, donde el tamaño de un pozo y su forma va a depender de la profundidad a utilizar. Para ello, el punto más profundo del pozo va a tener aproximadamente un cuadrado de 0,5x0,5 metros para proveer el espacio necesario para efectuar mediciones de densidad y observaciones estratigráficas. Asimismo, cabe resaltar que el tamaño del pozo va a variar dependiendo del tamaño del operador y la longitud de la pala, ante ello, cada investigador experimentado tiene su propia técnica para diseñar un pozo. Se recomienda que sus paredes se mantengan perpendiculares mientras se realiza la excavación y sus ángulos rectos, siendo esta la forma más efectiva de poder obtener la profundidad requerida como un mínimo de volumen a remover (Kase, 2003).

Se determina método geodésico a la medición de los cambios volumétricos que experimenta un glaciar obtenido a raíz de la diferencia de elevación y densidad de un glaciar en dos momentos determinados (Bamber, 2007). Este método puede aplicarse a través del uso de mapas topográficos, modelos digitales de elevación, etc., obtenidos para distintas fechas, también es útil para estimar balances de masa de campos de hielo o continentales, zonas donde las mediciones de balance de

masa puntual, son poco eficientes o poco factibles a causa de sus grandes dimensiones o al peligro de ingresar en zonas con fuertes pendientes y agrietamientos.(Rivera, A., et al., 2016).

Por método de teledetección, se entiende a cualquier procedimiento o método de recopilaciones de información sin tener un contacto de manera directa con el área, con respecto a las ciencias de la tierra, estas técnicas se entienden que toman como objeto: la captura, el tratamiento y el análisis de imágenes adquiridas desde satélites artificiales que orbitan el planeta tierra, para su aplicación se debe disponer de datos de calidad, por lo que al momento de ser aplicado en el campo, el usuario debe establecer una semejanza adecuada calidad/costo de las imágenes a usar. El principal criterio es, por ejemplo: resolución espacial, en este caso el usuario va a requerir una imagen de 1m frente a otra de 4m, no obstante, ¿Se conciben adecuadamente estos datos? Esto significa una llamada de atención sobre los parámetros electro-ópticos que son necesarios conocer. Se aborda dentro del concepto teledetección espacial, a todos los problemas y procesos metodológicos o técnicos que en términos anglosajones quedan adjuntos dentro del concepto remote sensing. La evolución, desde los inicios hasta el día de hoy, ha sido dirigida por grandes avances en su calidad de sensores empleados, lo que ha permitido lograr excelentes imágenes en altas resoluciones y por consiguiente la probabilidad de abarcar nuevos y extensos objetos científicos.(Pérez Gutiérrez C., 2006). Dentro de los principales tipos de imágenes satelitales encontramos: Landsat, Sentinel, Ziyuan3-01, Hexágono K9, Tan-DEM-X, TerraSar-X, estos son modelos los cuales integran técnicas de procesamiento digital de imágenes de una estructura que hace uso de los datos raster que brindan el apoyo necesario para la generación de mapas vectoriales (Calle A., 2012).

Figura 5. Teledetección



Fuente: (Arkanjun, 2013)

La primera vez que se colocó en órbita un satélite que proporcionaría imágenes satelitales terrestres, fue el 23 de julio del año 1972, con su primer modelo entonces llamado Satélite de Tecnología de los recursos de la tierra, en ese entonces, Landsat, lo cual desató una revolución en la era digital de análisis de imágenes terrestres demostrando la importancia de mediciones multiespectrales de resolución espacial de media a alta para luego dar seguimiento de los procesos biosféricos y manifestando el valor de la transformación estacional e interanual de las condiciones de la cubierta terrestre en cualquier ubicación del planeta (Williams, Goward y Arvidson, 2006). Luego de iniciar con la era del barrido de imágenes terrestres por satélite se demostró la importancia de realizar mediciones de un índice espectral de vegetación como también de la observación de la tierra y su capacidad de modelizar. Para el año de 1975 se le cambió el nombre a Landsat-1, este satélite presentaba un peso de 953kg, una altura de 3 metros y un diámetro de 1.5 metros, constaba de una órbita eliosincrónica casi polar a una altitud de 917km y una inclinación de $99,2^\circ$ el cual podía recorrer una vuelta a la tierra cada 103.34 minutos, completando en el día 14 órbitas, alcanzando un barrido de 185km, constaba con dos sensores:

- *Return Beam Vidicon (RBV)*, tenía 3 cámaras que trabajaban entre 3 bandas espectrales: 1. azul-verde visible (475-575 nm), 2. Naranja-rojo visible (580-680 nm), 3. rojo visible- infrarrojo cercano (690-830 nm).

- *Scanner Multiespectral (MSS)*, tenía una resolución de 80 metros y operaba con 4 bandas espectrales: 1. banda verde visible, 2. rojo visible, 3. y 4. infrarrojo cercano.

Este satélite cumplió eficientemente con su misión, e incluso superando las expectativas, durante el período de tiempo en el que estuvo orbitando el planeta. El 01 de enero de 1978, dejó de funcionar.

A medida que han pasado los años, los satélites de la era Landsat han ido evolucionando, con el lanzamiento de Landsat-4 el 16 de julio de 1982 el cual trajo una nueva generación de sensores más precisos y sofisticados, este presentaba un peso de 1,942 kg, un diámetro de 2,74 mt y una altura de 4,4 mt; tenía una órbita circular casi polar sincronizada con el sol a una altitud de 705 km, daba una vuelta a la tierra en 99 minutos, constaba de un ancho de barrido de 185 km. Este satélite operaba con el sensor TM (Thematic mapper), tenía en total 7 bandas espectrales e incluía una banda térmica:

- Visible azul (0,45-0,52 m) 30 metros.
- Visible verde (0,52-0,60 m) 30 metros.
- Visible rojo (0,63-0,69 m) 30 metros.
- Infrarrojo cercano (0,76-0,90 m) 30 metros.
- Infrarrojo medio (1,55-1,75 m) 30 metros.
- Térmica (10,40-12,50 m) 120 metros.
- De mitad de infrarrojos (IR) (2,08-2,35 m) 30 metros.

Se mantuvo en órbita hasta el año 2001, cuando finalizó su funcionamiento.

Landsat-5 fue lanzado el 01 de marzo de 1984, tenía un peso de 1,973 kg, una altura de 4,4 mt y un diámetro de 2,4 mt; debido a que el gobierno de Estados Unidos privatizó los datos obtenidos por estos satélites, hubo una discontinuidad por el elevado precio de la adquisición de imágenes satelitales. Operaba con los

sensores MSS y TM. Presenta una órbita polar eliosíncrona a una altitud de 705 km, y una inclinación de 98.2° da una vuelta a la tierra en 99 minutos con un total de 14,5 órbitas al día. Fue sacado de órbita oficialmente el 5 de junio de 2013 el cual tuvo un total de 29 años, 3 meses y 4 días.

El 15 de abril de 1999, fue lanzado exitosamente Landsat-7, este modelo ha sido hasta ahora el más eficiente. Presenta un peso de 2200 kg, una altura de 4,4 mt y un diámetro de 2,8 mt, posee los siguientes sensores:

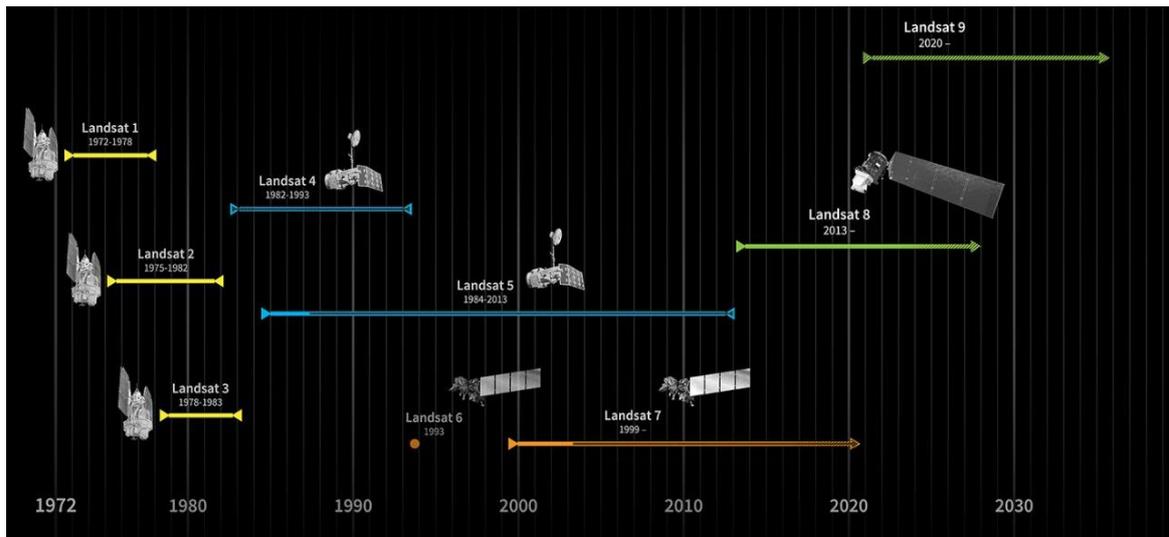
- Cartografía temática mejora plus (ETM+), posee una banda pancromática de resolución espacial de 15 metros a bordo de apertura completa, con calibración radiométrica absoluta de 5% un canal IR térmico con resolución espacial de 60 metros y un registrador de datos abordo.

Se consideró una calibración triunfo la misión de este, ya que operó sin problema alguno hasta mayo del 2003, el cual tuvo una falla en un componente de su hardware que dejó espacios en las imágenes satelitales con forma de cuña. Todavía sigue en funcionamiento.

Landsat-8 fue puesto en órbita el 11 de febrero de 2013 con un peso de 2071 kg, una altura de 4,4 mt y un diámetro de 2,4 mt, opera con el sensor *OLI (Operational Land Imager)* que opera con 9 bandas espectrales que incluye una banda pancromática y un sensor térmico infrarrojo (*TIRS*) que opera con dos bandas espectrales, estos dos sensores aportan una cobertura espacial de masa terrestre global con resolución espacial de 30 metros (visible, NIR, SWIR), 100 metros (térmico), 15 metros (pancromática).

Tiene una órbita polar eliosíncrona con una altitud de 705 km, el ancho de su barrido es de 185 km.

Figura 6. Cronología de satélites Landsat



Fuente: (NASA, 2021)

El satélite Sentinel-1 fue puesto en órbita el 03 de abril de 2014 por el gobierno francés, tiene un peso de 2,300 kg, una altura de 3,22 mt y un diámetro de 1,3 mt opera con una constelación de 2 satélites que trabajan en horario diurno y nocturno, y ejecuta imágenes con un radar de apertura sintética con banda c, la cual permite recolectar imágenes a pesar de cualquier tipo de clima. También tiene un radar con capacidad interferométrica que puede detectar pequeños movimientos en el suelo (nivel milimétrico o sub-milimétrico). Su antena SAR consta de cinco paneles (A; B; C; D y E), de los cuales el panel central es C está determinado en la parte superior del satélite y los otros cuatro desplegados en relación al panel C de una serie controlada luego de su lanzamiento. Estos paneles se mantendrán bloqueados en la configuración desplegada, sus cuatro ejes de rotación son paralelos. Se debe tomar en cuenta la forma en la en la que se obtienen los datos, según el tipo de proceso:

- Single Look Complex: productos SAR de nivel 1 georreferenciados utilizando altitud del satélite y datos de la órbita.
- Ground Range Detected: productos SAR nivel 1 que fueron proyectados utilizando un modelo elipsoidal de la tierra. Estos productos se pueden hallar con tres resoluciones: full resolution (FR), high resolution (HR) y médium resolution (MR).

- Ocean: productos oceánicos de nivel 2 con datos de velocidad y dirección del viento.

Sentinel-2 fue lanzado el 23 de junio de 2015, cuenta con un peso de 1,100 kg, una altura de 3,4 mt y un diámetro de 1,8 mt; está compuesto por el sensor MSI (Multispectral Instrument) y 13 bandas, sus principales bandas visibles e infrarrojas cercanas presentan una resolución espacial de 10 metros mientras que sus bandas rojas e infrarrojas cercanas presentan una resolución espacial de 20 metros, y sus bandas costeras tienen una resolución espacial de 60 metros. Tiene un área de barrido de 290 km. Sigue una política de datos de acceso libre y gratuito.

Figura 7. Representación de Sentinel-2



Fuente: (ESA, 2017)

Ziyuan 3 (ZY-3) tuvo un lanzamiento al espacio en enero de 2012, tiene un peso de 2,636 kg, constituye los primeros satélites de mapeo estereoscópico de resolución alta de China para manejo civil, consta con un conjunto de cámaras pancromáticas de tres líneas que recolectan imágenes estereoscópicas y un generador de imagen multiespectral, además de tres cámaras telescópicas, una de ellas orientada hacia el nadir y el resto orientadas cada una 22° hacia adelante y para atrás en dirección de vuelo. Su cámara de mapeo estéreo cuenta con resolución de 2,1 m para cámara nadir y 2,6 m para sus cámaras offset. Con un ancho de barrido de 52 km.

Su generador multispectral usado para monitoreos ambientales presenta un telescopio de tres espejos y un detector enfriado sensible en cuatro bandas de longitud de onda para captar imágenes a color, como también datos del infrarrojo cercano; su resolución en tierra es 5,8 m. Su órbita es de 497 km por 507 km y un ángulo de 97.49°, cuenta con un peso de 2,360 kg.

El satélite Hexágono KH-9 (Bigbird) fue puesto en órbita el 18 de junio de 1980, con un peso total de 11,385 kg, una altura de 18 mt y un diámetro de 3 mt, con una órbita de 169 km por 265 km y un ángulo 96.5° típico. Funcionaba con un sensor primario (SS) y constaba de cuatro cápsulas de retorno para alargar su vida útil. Su sistema de cámaras presentaba dos grandes cámaras panorámicas para observar el área, la primera orientada hacia adelante en el lado del babor y la segunda en la parte de estribor. Recolectaba imágenes a altitudes de 145 km y 322 km. Su cámara de mapeo o “cámara de marco” utilizaba una película de 9 pulgadas y resolución moderada-baja pequeña de 9 metros al inicio mejorando a 6 emisiones siguientes. Fue creado específicamente para la elaboración de mapas donde las fotos obtenidas por su cámara la cual barrió casi todo el planeta tierra. Fue sacado de órbita el 06 de marzo de 1981.

TerraSAR-X fue puesto en órbita el 14 de junio de 2007, cuenta con un peso de 1,230 kg, una altura de 5mt y un diámetro de 2,4 mt, tiene una vida de diseño de al menos cinco años con los sensores TLR SAR, sus aplicaciones científicas son extraer datos de banda X multimodo y alta resolución para que estén disponibles para que pueda aplicado en varios campos: hidrología, geología, climatología, oceanografía y creación de mapas (generación DEM) usado en interferometría y estereometría. Presenta una órbita eliosíncrona repetida con una inclinación 97.44°. Tiene una resolución espacial de cinco bandas:

- Staring SpotLight (25 cm de resolución)
- High Resolution SpotLight (1 m de resolución)
- StripMap (3 m de resolución)
- ScanSAR (18.5 m de resolución)
- Wide ScanSAR (40 m de resolución)

TanDEM-X presenta similitud a TerraSAR-X, fue lanzado el 21 de junio de 2010, con un peso de 1230 kg, una altura de 5mt y un diámetro de 2,4 mt, su órbita de referencia estaba a 514 km de altitud sincronizada con el sol y una inclinación de 97.44° Presenta resolución espacial de 90 m, con cobertura para conectar toda la superficie terrestre, correspondiente a su lote de imágenes radar SAR y un grupo de GeoTIFF con baja resolución en diferentes rampas de simbología. Consta de una precisión vertical de 2 m (relativa) y 10 m (absoluta), dentro de un ráster horizontal por 12x12 m que varía levemente según la latitud geográfica.

Presenta 5 modos de imagen operativos:

- Staring SpotLight (25 cm de resolución)
- High Resolution SpotLight (1 m de resolución)
- StripMap (3 m de resolución)
- ScanSAR (18.5 de resolución)

Tabla 2. Resumen de las características de los principales satélites

SATELITE	LANZAMIENTO	PESO	ALTURA	DIAMETRO	BANDAS
Landsat-1	23 de julio de 1972	953 kg	3 mt	1,5 mt	03
Landsat-4	16 de julio de 1982	1,942 kg	4,4 mt	2,74 mt	07
Landsat-5	01 de marzo de 1984	1,973 kg	4,4 mt	2,74 mt	07
Landsat-7	15 de abril de 1999	2,200 kg	4,4 mt	2,8 mt	07
Landsat-8	11 de febrero 2013	2,071 kg	4,4 mt	2,4 mt	11
Sentinel-1	03 de abril de 2014	2,300 kg	3,22 mt	1,3 mt	-
Sentinel-2	23 de junio de 2015	1,100 kg	3,4 mt	1,8 mt	13
Ziyuan-3	enero 2012	2,636 kg	-	-	05
Hexágono KH-9	18 de junio de 1980	11,385 kg	18 mt	3 mt	-
TanDEM-X	21 de junio de 2010	1,230 kg	5 mt	2,4 mt	01
TerraSAR-X	14 de junio de 2007	1,230 kg	5 mt	2,4 mt	05

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

En esta investigación la cual es de tipo descriptivo, cualitativo, no experimental y básica (Hernández, Fernández, Baptista, 2014) trata de una revisión de referencia actualizada en los últimos 5 años en la utilización de métodos para el monitoreo del retroceso glaciar en el Sistema de Himalayas. Contribuye con conocimientos científicos que aporta información fidedigna evaluada y brinda ayuda para la mejora del conocimiento teórico y práctico cuando se concrete.

El diseño que se utilizará en la investigación es, narrativo tópico donde se menciona el lugar y la época, situaciones donde sucedieron los hechos y resultados, para completar una narración o historia total. Este diseño utilizará recursos de recolección de: documentos, artículos científicos, estudios, libros. (Hernández, 2014). Para la ejecución de esta investigación se requerirán el uso de artículos relacionados al estudio, evaluación, análisis, etc., del retroceso glaciar en el Sistema de los Himalayas.

3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.

En la presente investigación, se elaboró una matriz de categorización apriorística (Tabla 4), en donde se ha nombrado las categorías, sub categorías, e indicadores que se van a utilizar para poder analizar la información compilada.

Tabla 3. Tabla de matriz apriorística

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Subcategoría		Criterio 1	Criterio 2	Unidad de Análisis
Describir los métodos que se utilizan para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de Himalayas.	¿Cuáles son los métodos que se aplican para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas?	Métodos para monitorear el retroceso glaciar	Convencional-in situ	Glaciológico	De acuerdo a la morfología del glaciar	De acuerdo a la evaluación de parámetros	Alifu H, et al., 2020 Cao B, et al., 2019 Garg P, Shukla A, Jasrotia A, 2019 Garg P, Yadav J, 2022 Garg S, et al., 2021 Huang L, et al., 2021 Ke L, et al., 2020 Li S, et al., 2019 Liu L, et al., 2019 Liu Q, et al., 2020 Mishra N, et al., 2017 Murtaza K, et al., 2021 Nie Y, et al., 2017
			Híbrido	Geodésico			
			Digital-ex situ	Teledetección			

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Subcategoría		Criterio 1	Criterio 2	Unidad de Análisis
							Nie Y, et al., 2018 Pandey A, et al., 2018 Pandey P., 2019 Singh A, et al., 2022 Song C, et al., 2017 Wei J, et al., 2021 Wei J, et al., 2021
Identificar el método más empleado para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas.	¿Qué metodología es la más empleada para el monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas?	Metodología más empleada en monitoreo de retroceso glaciar en el sistema de Himalayas	Glaciológico, teledetección	geodésico y	De acuerdo a las ventajas y desventajas al monitorear	De acuerdo a la efectividad de la técnica	Alifu H, et al., 2020 Azam M, et al., 2018 Cao B, et al., 2019 Dobhal D, et al., 2021 Garg P, Shukla A, Jasrotia A, 2019

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Unidad de Análisis
Determinar la eficiencia de los métodos de monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de Himalayas.	¿Cuál es el método más eficiente para monitorear el retroceso glaciar en el sistema de Himalayas?	Teledetección	Landsat, Sentinel, KH-9, ZY-3, tanDEM-X, TerraSar-X	De acuerdo al nivel de eficiencia del monitoreo en el sistema de Himalayas	De acuerdo al tipo de actividad realizada en el glaciar	<p>Garg P, Yadav J, 2022</p> <p>Garg S, et al., 2021</p> <p>Huang L, et al., 2021</p> <p>Ke L, et al., 2020</p> <p>Kumar D, et al., 2020</p> <p>Kumar V, et al., 2021</p> <p>Li G, Lin H, Ye Q., 2018</p> <p>Li J, et al., 2017</p> <p>Li S, et al., 2019</p> <p>Liu L, et al., 2019</p> <p>Liu Q, et al., 2020</p> <p>Majeed U, et al., 2020</p>

Objetivos Específicos	Problemas Específicos	Categorías	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Unidad de Análisis
						Mishra N, et al., 2017, Murtaza K, et al., 2021 Narama C, et al., 2017 Nie Y, et al., 2017 Nie Y, et al., 2018 Pandey A, et al., 2018 Pandey P., 2019 Rashid I, et al., 2021 Shukla A, Garg P., 2019 Singh A, et al., 2022 Song C, et al., 2017 Wei J, et al., 2021 Wei J, et al., 2021

3.3 Escenario de estudio

El escenario es el ambiente o área en dónde se va a llevar a cabo el desarrollo de la investigación, esta presentará como escenario el conjunto de cordilleras del sistema de las Himalayas que se dividen en: Himalaya, Sensu Stricto, Karakórum, Hindú Rush, Pamir, Kunlu y Tian Shan.

3.4 Participantes

En el presente trabajo de investigación recolectará la información como: libros, artículos científicos, informes, investigaciones, entre otros, de plataformas digitales como: Science Direct y Google Scholar, tomando como referencia para las búsquedas las palabras claves como: Himalaya glacier, glacier retreat, glacier mass balance, monitoring glacier, remote sensing, glacier lake, climate change.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

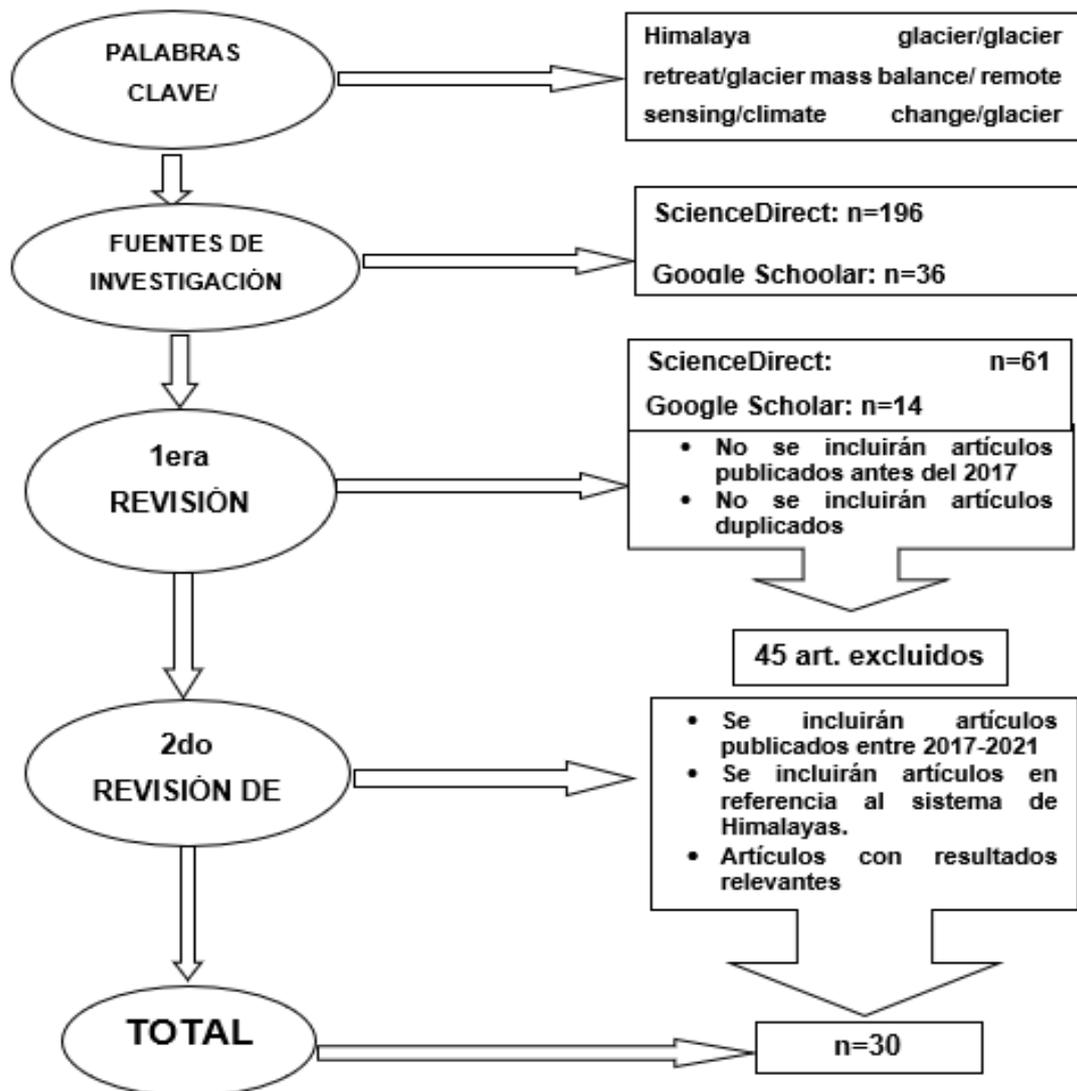
Las técnicas de recolección a emplear será el análisis documental que mostrará el conjunto de actividades que tienen como objetivo principal representar y describir los documentos de forma organizada y sistemática. Poseerá el proceso analítico, sintético, que lo conformará la revisión bibliográfica, la traducción, la clasificación, las reseñas, entre otros (Dulzaides Iglesias, 2004). Se buscará dentro de la metodología de varios autores con relación al tema seleccionado a llevar a cabo, de esta forma, identificaremos, seleccionaremos y evaluaremos los estudios que correspondan a nuestra línea de investigación.

3.6 Procedimiento

La búsqueda informática se realizó al usar palabras claves, en las distintas plataformas digitales, se usaron palabras claves como: Himalaya glacier, glacier retreat, glacier mass balance, remote sensing, climate change, glacier monitoring, glacier lake. Estas palabras claves se tomaron como punto de partida, para la obtención de la información necesaria, se tomó en cuenta: documentos, libros, artículos científicos, trabajos de investigación, revistas, etc. Todas ellas provenientes de plataformas digitales confiables, como primer filtro de búsqueda se colocó un intervalo de tiempo de 5 años de antigüedad (2017-2021), como último filtro se seleccionó la información que debe contener los temas que están relacionados a la investigación. Finalmente, la información que fue seleccionada al

pasar por los filtros, se procedió a analizar y poder de esa manera, descartar aquellos artículos que no necesitamos para para nuestra investigación.

Figura 8. Diagrama de procedimiento



3.7 Rigor científico

Es de mucho interés de los investigadores, sumergirse en la compilación de datos, analizar toda la información y además las semejanzas entre sí para poder visualizar la información de los distintos puntos de vista y así se pueda comprender de la mejor manera posible.

La dependencia estará relacionada con los datos que tienen que ser revisados por distintos investigadores, obteniendo un resultado con interpretaciones concisas y coherentes, esta investigación tomará distintos datos e ideas de distintos autores

para ser evaluados y analizar las similitudes para obtener una explicación congruente. La credibilidad estará relacionada con la comprensión del investigador que tendrá como base las situaciones vividas por los participantes con mayor relevancia de las que estarán asociadas a la formulación del problema. Para la transferencia, estos autores mencionarán que será muy complicado que los resultados obtenidos los puedan movilizar a otro sitio, por lo tanto, se cree que será de gran ayuda para poder tener una visualización universal del problema y poder brindar las soluciones correspondientes en otro medio. (Hernández, 2014). La confirmabilidad según (Hernández, 2014) tendrá relación con la credibilidad y de igual forma, será vinculada al criterio del pensamiento innovador del investigador que marcará un rumbo diferente a lo dicho por el investigador principal. En esta investigación estaremos considerando la información principal que será entregada por los investigadores, de la misma forma sus ideas y aportes para la investigación a desarrollarse.

3.8 Método de análisis de datos

Para realizar esta investigación, se buscarán categorías basadas a la problemática a plantear, que serán las siguientes:

- Métodos para monitorear el retroceso glaciar
- Metodología más empleada en el monitoreo del retroceso glaciar
- Teledetección

Teniendo en cuenta el tema principal a investigar y los objetivos, se desplegó de cada categoría, subcategorías: (Glaciológico, geodésico, teledetección, Landsat, Sentinel, KH-9, ZY-3, tanDEM-X, TerraSar-X), estas se vinculan con los criterios de nuestra matriz.

3.9 Aspectos éticos

La ética y la honestidad formarán parte importante y necesaria en el presente trabajo de investigación, ya que nos beneficiará al demostrar una autenticidad de la información analizada y recolectada, como según se establece en la política anti plagio de la Universidad César Vallejo, aprobado en la resolución de consejo universitario N°0126-2017-UCV, emitido el 23 de mayo de 2017. La información recolectada será de distintas investigaciones y/o artículos científicos que han sido

elaborados por autores expertos en el tema de la presente investigación, será leída, evaluada e interpretada, citando y señalando las referencias de acuerdo al ISO690-2, con la finalidad de respetar la autoridad de los trabajos de investigación evaluados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación, se necesitó información de páginas fidedignas como Sciencedirect y Google Scholar sobre los métodos de monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de los Himalayas.

De esta forma, se ha recolectado y determinado datos e información para que la investigación sobre los métodos de monitoreo del retroceso glaciar pueda llevarse a cabo en el Sistema de los Himalayas, seleccionándose así 30 artículos científicos que cumplieron con los juicios de búsqueda necesarios para su elección ([ver procedimiento](#)).

Tabla 4. Comparación de métodos de monitoreo glaciar

MÉTODO DE MONITOREO DE RETROCESO GLACIAR	TÉCNICA	MORFOLOGÍA GLACIAR	ALTITUD (msnm)	PARAMETROS A EVALUAR	AUTOR
Glaciológico	in situ	Glaciar de valle	4600	$a^1/m^2/vg^3$	Azam, et al., 2018
Glaciológico	in situ	Glaciar subpolar	4000	$t^{°4}/pr^5$	Cao et al., 2019
Glaciológico	in situ	Glaciar de circo	3800	$Bm^6/d^7/v^8$	Dobhal D. et al., 2021
Glaciológico	in situ	Glaciar de circo	5716	$Bm/t^{°}/esp^9$	Garg P. Y. et al., 2021
Glaciológico	in situ	Glaciar de valle	5300	$a/long^{10}/t^{°}/pr$	Garg S. et al., 2021
Glaciológico	in situ	Glaciar de escombros	4900	$Bm/v/Esp/long/a$	Ke L. et al., 2020
Glaciológico	in situ	Casquete de hielo	6000	$wd/ws/t^{°}/hr/ideam^{11}/p/dsr^{12}$	Li S. et al., 2019
Geodésico	Híbrido	Glaciar de escombros	6600	$h/hres^{13}$	Li G. et al., 2018
Geodésico	Híbrido	Glaciar de valle	4100	$v/Bm/long/t^{°}$	Majeed U. et al., 2020
Geodésico	Híbrido	Glaciar de circo	3420	$Esp/v/pr/Bm$	Mishra N. et al., 2021
Teledetección	ex situ	Glaciar de valle	5448	a	Taloor A. et al., 2021
Teledetección	ex situ	Glaciar de valle	8378	$long/h/ds/a/$	Huang. et al., 2021

¹ a: área

² m: masa

³ vg: velocidad del glaciar

⁴ T: temperatura

⁵ Pr: precipitación

⁶ bm: balance de masa

⁷ d: densidad

⁸ v: volumen

⁹ Esp: espesor

¹⁰ long: longitud

¹¹ ideam: radiación solar

¹² ds: latitud

¹³ hres: cambio de altura

MÉTODO DE MONITOREO DE RETROCESO GLACIAR	TÉCNICA	MORFOLOGÍA GLACIAR	ALTITUD (msnm)	PARAMETROS A EVALUAR	AUTOR
Teledetección	ex situ	Glaciar de valle	8300	a/esp./Bm/v	Kumar D. et al., 2021
Teledetección	ex situ	Glaciar de valle	7030	Bm/vg/esp/t°/pr	Kumar V. et al., 2021
Teledetección	ex situ	Glaciar de montaña	6000	Esp/m/vg	Li J. et al., 2017
Teledetección	ex situ	Glaciar de montaña	8656	Bm/t°/pr	Liu L. et al., 2019
Teledetección	ex situ	Glaciar de montaña	8450	Vg/lg/m	Liu Q. et al., 2020
Teledetección	ex situ	Glaciar de circo	5030	a/Esp./h/ds	Murtaza K. et al., 2021
Teledetección	ex situ	Glaciar de escombros	7010	a/t°/v	Narama C. et al., 2017
Teledetección	ex situ	Glaciar de montaña	4831	a/t°/v/wd ¹⁴ /ws ¹⁵	Nie Y. et al., 2017
Teledetección	ex situ	Glaciar de montaña	5161	geom ¹⁶ ./v/a/Bm	Nie Y. Q. et al., 2018
Teledetección	ex situ	Glaciar de valle	3847	h ¹⁷ /ds/a/long./t°	Pandey A. et al., 2018
Teledetección	ex situ	Glaciar de escombros	7000	ws/t°/long./vg/h/ds	Pandey P. et al., 2019
Teledetección	ex situ	Glaciar de escombros	6287	h/Bm/v/long./ds	Rashid I. et al., 2021
Teledetección	ex situ	Glaciar de escombros	7846	t°/pr/ws/esp	Shukla A. et al., 2019
Teledetección	ex situ	Glaciar de escombros	7732	v/a/esp./long/m	Singh et al., 2020

¹⁴wd:dirección del viento
¹⁵ ws: velocidad del viento

¹⁶ geom: geometría
¹⁷ H: altitud

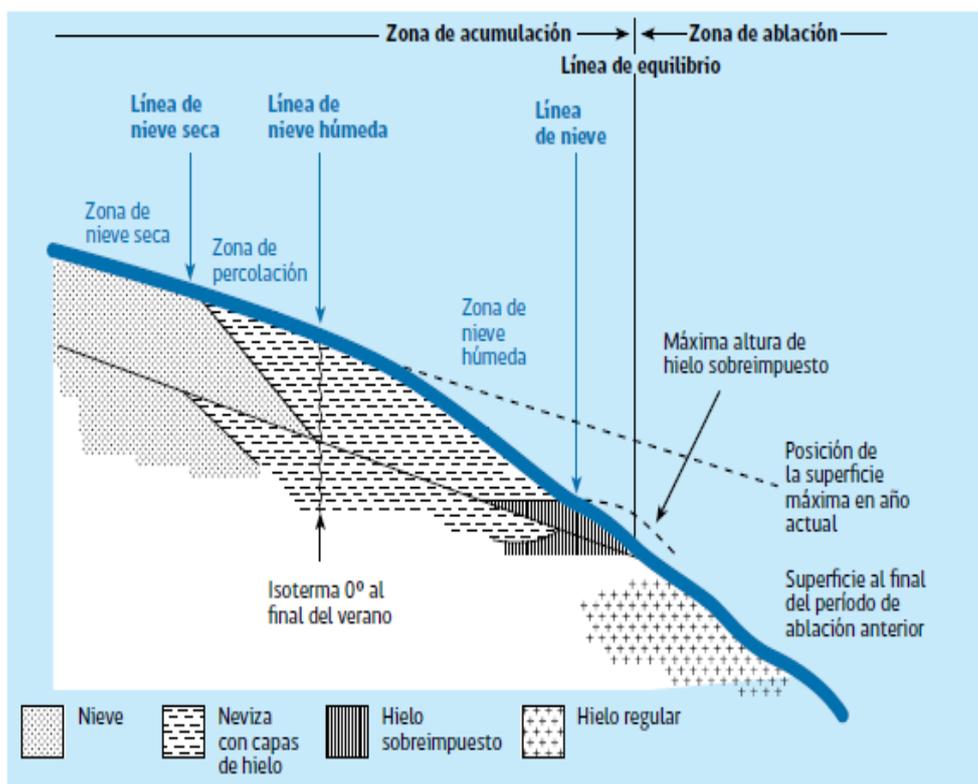
MÉTODO DE MONITOREO DE RETROCESO GLACIAR	TÉCNICA	MORFOLOGÍA GLACIAR	ALTITUD (msnm)	PARAMETROS A EVALUAR	AUTOR
Teledetección	ex situ	Glaciar de escombros	8611	Bm/v/Esp./Long/a	Song C. et al., 2017
Teledetección	ex situ	Glaciar de montaña	5499	t°/pr/ws/esp	Wei J. et al., 2021

Según A. Thapliyal, M. Kimothi, 2013, El uso completo de mediciones en campo, imágenes satelitales, información digital del área, que permite llevar a cabo evaluaciones generales y locales sobre los efectos del cambio climático que se dan sobre cubiertas de glaciares de cordilleras y montañas. En base a lo mencionado por ambos autores, se puede llegar a concluir que en comparación con los resultados de nuestra investigación, existen distintos métodos para poder vigilar, observar, medir, supervisar, monitorear el retroceso glaciar, los cuales hemos clasificado en tres categorías : glaciológico, geodésico y teledetección; cada uno de estos realiza una evaluación en base a los parámetros que se necesiten medir, donde algunos resaltan más en los aspectos físicos, morfológicos y atmosféricos.

Según Shukla, 2020, “el tamaño del glaciar es un factor muy importante, ya que este afecta a la correcta evaluación de la respuesta de los glaciares frente a las incidencias del cambio climático”. De esta manera se constata lo que está establecido en la [tabla N°2](#), el método glaciológico es más factible cuando se aplica a glaciares que van por debajo de los 6000 m.s.n.m., en cambio, si usamos teledetección, no se presentará dificultad al momento de la evaluación, si estos glaciares tienen una medida por encima de los 6000 m.s.n.m. Por otro lado, el método geodésico es aquel que combina ambos métodos (glaciológico y teledetección) y en algunos casos podría ser más factible que en otros, es importante tener en cuenta no solo la morfología de los glaciares o cuales son los parámetros a medir y/o evaluar, debido a que, en muchas ocasiones, se presentan dificultades al momento de realizar estas mediciones.

Según Abdullah, Romshoo, Rashid 2020: “De estas observaciones, es preciso mencionar que el patrón de igualdad de masa perdida en los Himalayas está manipulado por las condiciones del clima que predominan en sus categorías respectivas. Entre tanto las tasas heterogéneas de disminución de masa (en términos de magnitud) de los glaciares en un rango propio son potencialmente controlados por los factores topográficos. Se puede indicar que lo dicho por estos autores muestra resultados semejantes a nuestro trabajo de investigación, ya que al hablar de monitoreo usando metodología glaciológica- in situ se inicia por el análisis de sus características morfológicas valiéndose de parámetros señalados en la [tabla N°4](#), en donde el método glaciológico el cual se basa del estudio de su balance de masa que para poder desarrollarlo debemos conocer las distintas zonas del glaciar, presentadas en la siguiente figura.

Figura 9. Esquema general de la zona de acumulación y ablación de un glaciar.



Fuente: (Menzies, 1995)

Según Paul, Bolch (como se citó en Huang et al., 2021), “desde los satélites se pueden observar varios parámetros que reflejan el estado del glaciar, incluyendo los cambios observados en el área, el espesor, su velocidad de flujo y la línea de equilibrio (línea de nieve al finalizar el verano)”, coincidiendo con los resultados, en la actualidad, los datos satelitales están disponibles de manera gratuita para el dominio público como la serie de imágenes multiespectrales, DEM, etc, se encuentran en la página web del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos), NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio), ESA (Agencia Espacial Europea). Estas imágenes se han utilizado desde el primer lanzamiento de un satélite para mapeos geomorfológicos hace cincuenta años atrás, desde entonces se viene monitoreando la pérdida acelerada de varios glaciares en la región del sistema de los Himalayas. Como ejemplo, se ha ido observando las pérdidas casi catastróficas de masa glaciar y el grosor de los glaciares en la zona de la cordillera Himalaya Sensu stricto (India, China y Nepal). Por lo cual se ha ido buscando medios de investigación de alta prioridad para poder efectuar evaluaciones más a fondo y de mayor complejidad. Ante ello, se fue reconociendo el valor máspreciado al utilizar los satélites, logrando observar y analizar varios parámetros que nos reflejan el estado real de los glaciares en comparación a cómo se encontraban en el siglo pasado a través de sus cambios en el área, la variación de temperaturas anuales, el espesor, la línea de equilibrio, el volumen, la altitud, la velocidad del flujo, entre otros.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los métodos de monitoreo: Glaciológico, geodésico y teledetección

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
METODO CONVENCIONAL/ IN SITU	Es directo y preciso.	Es costoso porque requiere mucha mano de obra.
	Las estacas se instalan generalmente en lugares de fácil acceso.	Las avalanchas a veces destruyen las estacas.
	Es eficaz para glaciares pequeños (3800msnm-6000 msnm).	Las mediciones a menudo son desafiantes debido a la gran área cubierta de glaciares, la gran altitud, el terreno accidentado, el clima extremo y las fronteras políticas y culturales lo cual lo convierte en un método que no es completamente seguro.
		No es apta para todos los glaciares.
		Cobertura espacial deficiente.
		Son propensos a errores en glaciares altamente cubiertos de escombros.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
METODO HÍBRIDO/ GEODESICO	Este método puede facilitar el cálculo del balance medio de un glaciar o varios, de una misma zona durante una larga serie de tiempo.	
	Las fallas de ubicación se pueden remediar mediante el uso de balizas y correcciones matemáticas.	La ionosfera y troposfera causan demoras en las señales del GPS, conocidas como fallas de ubicación.
	Aplica una inversión, para que el receptor no recopile datos de satélites debajo de una altura seleccionada en su horizonte.	Se debe planear su observación, ya que al perder un satélite no se obtendrán los resultados coherentes.
	Proporcionan una gran información para estimar la pérdida de volumen de hielo y la variabilidad de la escorrentía de los glaciares a nivel regional.	La evaluación de la precisión suele ser difícil debido a la falta de datos reales sobre el terreno.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
METODO DIGITAL/ EX SITU	Los datos multisensoriales que se utilizan están disponibles de forma gratuita y global.	Las mediciones precisas solo son factibles de obtener mediante sensores remotos, ya que los límites superiores de los glaciares a menudo son inaccesibles.
	Proporcionan una gran información para estimar la pérdida de volumen de hielo y la variabilidad de la escorrentía de los glaciares a nivel regional	Evaluación de la precisión suele ser difícil debido a la falta de datos reales sobre el terreno
	Las imágenes térmicas pueden ayudar a detectar diferencias de temperatura radiométricas.	Los datos de teledetección por satélite multitemporales y multiespectrales son cruciales para estudiar el estado actual y pasado de diversos parámetros de los glaciares.
	Permite realizar monitoreos diarios.	
	Debido a la inaccesibilidad del terreno y la lejanía de los glaciares en el Himalaya son más factibles.	
	Las imágenes satelitales son obtenidas en la web de forma gratuita.	

Según Azam et al., 2018 y Kumar D., et al., 2021, “el balance de masa glaciológico (MB) es considerado el parámetro directo para realizar el monitoreo de glaciares, porque presenta resultados rápidos, sin tantas del sistema de un glaciar ante condiciones meteorológicas estacionales/anuales, como al cambio climático en un periodo largo”. Pero una de las desventajas que presenta este método, in situ, es que puede presentar errores en cualquier momento, debido a que pueden surgir fenómenos naturales imprevistos como, por ejemplo: avalanchas, taludes, precipitación de escombros, desprendimiento de rocas, granizada, lluvia, fuertes vientos, entre otros. Que cambian de manera instantánea los resultados recolectados por los instrumentos in situ, causando que los equipos queden descalibrados y a causa de ello, se pierde información precisa y confiable. Por otro lado, también se ven afectadas la seguridad de las personas encargadas de operar estos instrumentos como: balizas, *U.A.V*, estacas, entre otros. Utilizados directamente en la zona a evaluar, quedando expuestos a peligros, por lo cual se recomienda usar los EPP adecuados. Ante esto se puede decir que su eficacia es baja del método glaciológico. Pero se puede decir que una de sus ventajas que sobresale más, es la necesidad que presenta al tener que realizar una actualización trimestral o anual de los datos de manera directa en la zona a evaluar, porque se debe tener un información real y actualizada de los cambios, en los glaciares por el constante aumento de las temperaturas anormales, y la serie de cambios adversos que provoca el cambio climático y son cada vez más frecuentes. Por otra parte, el cambio de repuestos o algún error presentado en los equipos que están presentes de manera perenne en el glaciar.

La teledetección, tiene la capacidad de brindar una vista clara, con cobertura multitemporal y características multispectrales de las capacidades del área terrestre, donde demostró capacidad para poder dar seguimiento a todos los glaciares del mundo. De acuerdo a lo dicho por estos autores, se comprueba lo mencionado en la [tabla 5](#), donde se puede apreciar una ventaja muy clara frente a los otros métodos, ya que la teledetección puede ser empleada en cualquier tipo de glaciar sin distinción de su tamaño, grosor, ni ubicación, debido a que este método emplea varios instrumentos que pueden llegar hasta las zonas más alejadas y remotas, como por ejemplo: el *UAV (vehículo aéreo no tripulado)*, conocido de forma común con el nombre de “*DRON*”, el cual tiene una gran variedad de formas,

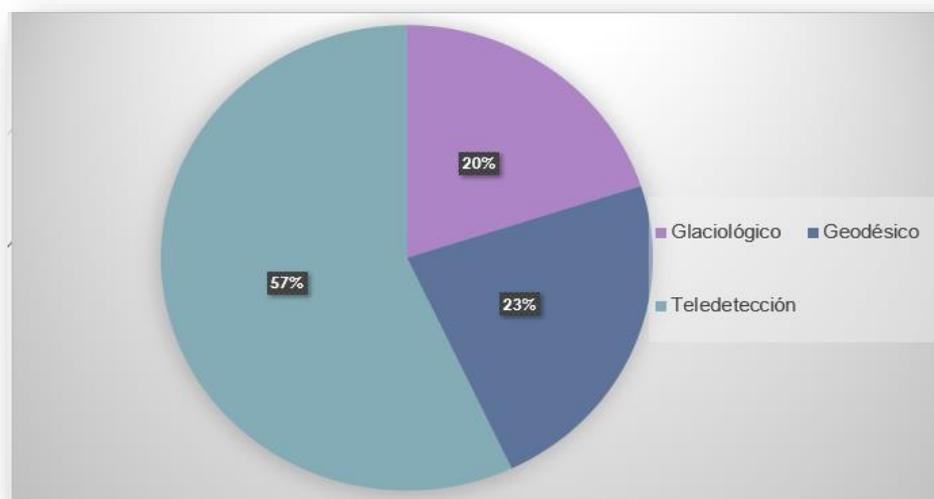
tamaños, configuraciones múltiples y características, teniendo 2 clasificaciones: los que pueden ser manipulados desde una distancia segura y remota, sin la necesidad de realizar un tipo de contacto directo (in situ) con el área a evaluar; y otros con un vuelo totalmente autónomo desde rutas de vuelo preprogramadas mediante una automatización dinámica (Ye, 2006; Bishop, 2000). Por otro lado, tenemos los satélites artificiales que son objetos que fueron puesto en órbita con un objetivo en específico, como por ejemplo de los analizados en esta investigación que son: Sentinel, Landsat, KH-9, Ziyuan, TanDEM-x y TerraSAR-X.

Tabla 6. Métodos de monitoreo del retroceso glaciar según autores

MÉTODOS DE MONITOREO DE RETROCESO GLACIAR		AUTOR (ES)																			
Convencional - In situ	Método glaciológico	Azam et al., 2018	Cao, et al., 2019	Dobhal et al,2021	Garg P. Y, et al, 2021	Garg S., et al, 2019	Ke, et al, 2020	Li S., et al, 2019													
Híbrido	Método geodésico	Cao, et al, 2019	Garg P. Y, et al, 2021	Garg S., et al, 2019	Ke, et al, 2020	Li G., et al, 2018	Majeed U, et al, 2020	Mishra N, et al, 2021	Zhao, et al, 2020												
Digital- Ex situ	Teledetección	Taloor et al, 2021	Gar P. S, et al, 2021	Huang, et al, 2021	Kumar D., et al, 2021	Kumar V., et al, 2021	Li J., et al, 2017	Liu L, et al, 2019	Liu Q, et al, 2020	Murtaza K, et al, 2021	Narama C, et al, 2017	Nie Y. Y, et al, 2017	Nie Y. Q, et al, 2018	Pandey A, et al, 2018	Pandey P, et al, 2019	Rashid I, et al, 2021	Shukla A, et al, 2019	Singh et al, 2020	Song C, et al, 2017	Wei J, et al, 2021	Zhao, et al, 2020

Seguidamente los distintos métodos de monitoreo del retroceso glaciar: método convencional-in situ, método híbrido y método digital- ex situ, se ven revelados en la siguiente [figura N° 10](#), donde se detalla el porcentaje mayor obtenido el cual fue de Teledetección con un 57%, dando como resultado que este método es el mayor empleado para medir el nivel del retroceso de los glaciares en el Sistema de Himalayas, seguido por el método geodésico con un 23%, y finalmente el método glaciológico con un 20%.

Figura 10. Estimación de porcentaje de artículos empleados según subcategorías



Luego se continuará con la discusión de los resultados inspirados en los autores estudiados. En la presente investigación, se está tomando un perfil de revisión sistemática, ya que cuenta con su matriz de categorización apriorística que nos ayuda a implantar similitudes, diferencias y relacionar sus subcategorías de la investigación en curso.

En la actualidad, los datos satelitales están disponibles de manera gratuita para el dominio público como la serie de imágenes multiespectrales, Aster, DEM, etc, se encuentran en la página web del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos), NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio), ESA (Agencia Espacial Europea). Estas imágenes se han utilizado desde el primer lanzamiento de un satélite para mapeos geomorfológicos hace cincuenta años atrás, desde entonces se vienen monitoreando la pérdida acelerada de varios glaciares en la

región del sistema de los Himalayas. Como ejemplo se ha ido observando las pérdidas casi catastróficas de masa glaciaria y el grosor de los glaciares en la zona de la cordillera Himalaya Sensu stricto (India, China y Nepal). Por lo cual se ha ido buscando medios de investigación de alta prioridad para poder efectuar evaluaciones más a fondo, y de mayor complejidad. Ante ello, se fue reconociendo el valor máspreciado al utilizar los satélites, logrando observar y analizar varios parámetros que nos reflejan el estado real de los glaciares en comparación a como se encontraban en el siglo pasado a través de sus cambios en el área, la variación de temperaturas anuales, el espesor, la línea de equilibrio, el volumen, la altitud, la velocidad del flujo, entre otros.

Tabla 7. Descripción de satélites utilizados por medio de teledetección

N°	SATÉLITE	FECHA DE LANZAMIENTO / FINALIZACIÓN	SENSOR DE OBSERVACIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	ANCHO DE BARRIDO	APLICACIONES	PRECISIÓN
1	Landsat-1 (1972)	23 de julio de 1972/ 5 de enero de 1978	<i>Return Beam Vidicon (RBV)</i>	Resolución espacial: 80 x 80 m	3 bandas (Verde, rojo e infrarojo cercano)	185 km	Mapeo de vegetación. Mapeo geomorfológico y geológico. Identificación de áreas de incendios y áreas húmedas. Calidad de agua. Diferenciación de especies vegetales. Áreas urbanas y uso del suelo. Delimitación de cuerpos de agua.	97%
2	Landsat-4 (1982)	16 de julio de 1982/ 14 de diciembre del 1993	<i>Sistema de Escáner Multiespectral (MSS)</i>	Resolución multiespectral: 80 m	B4 azul: 0.50 - 0.60 um B5 verde: 0.60 - 0.70 um B6 roja: 0.70 - 0.80 um B7 IR cercano 0.80 - 1.1 um	185 km	Mapeo de aguas costeras. Diferenciación entre suelo y vegetación. Mapeo de vegetación. Delimitación de cuerpos de agua. Mapeo geomorfológico y geológico. Calidad de agua.	97%

N°	SATELITE	FECHA DE LANZAMIENTO / FINALIZACIÓN	SENSOR DE OBSERVACIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	ANCHO DE BARRIDO	APLICACIONES	PRECISIÓN
3	Landsat-5 (1984)	1 de marzo de 1984/ Retirado enero de 2013	<i>Thematic Mapper(TM)/ Scanner Multispectral(MSS)</i>	Resolución Multiespectral: 30m Resolución Termal: 120m	B1 azul: 0.45 - 0.52 um B2 verde: 0.52 - 0.60 um B3 roja: 0.63 - 0.69 um B4 Infrarrojo cercano1:0.76 - 0.90um B5 Infrarrojo cercano2: 1.55 - 1.75um B7 Infrarrojo medio: 2.08 - 2.35 um B6 IR térmico: 10.4 - 12 um	185 km	Mapeo de aguas costeras. Diferenciación entre suelo y vegetación. Mapeo de vegetación. Delimitación de cuerpos de agua. Mapeo geomorfológico y geológico. Diferenciación entre nubes y nieve.	97%
4	Landsat-7 (1999)	15 de abril de 1999/ Aún en funcionamiento	<i>Cartografía Temática Mejorada Plus (ETM+)</i>	Resolución multiespectral: 30 m. Resolución pancromática: 15 m. Resolución Infrarrojo térmico: 60 m.	B8. Pancromática 0.52 - 0.90 um B1. Azul 0.45 - 0.52 um B2. Verde 0.53 - 0.61 um B3. Roja 0.63 - 0.69 um B4. Ir cercano1 0.78 - 0.90 um B5. Infrarrojo cercano 1.55 -1.75 um B6. Infrarrojo medio 2.09 - 2.35 um	185 km	Mapeo de aguas costeras. Diferenciación entre suelo y vegetación. Mapeo de vegetación. Delimitación de cuerpos de agua. Mapeo geomorfológico y geológico. Diferenciación entre nubes y nieve.	97%

N°	SATELITE	FECHA DE LANZAMIENTO / FINALIZACIÓN	SENSOR DE OBSERVACIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	ANCHO DE BARRIDO	APLICACIONES	PRECISIÓN
5	Landsat-8 (2013)	11 de febrero de 2013/ Aún en funcionamiento	<i>Operational Land Imager (OLI)/ Thermal Infrared Sensor (TIRS)</i>	Resolución multispectral: 30 m. Resolución pancromática: 15 m. RI térmico: 100 m	B1 Costal aerosol: 0,44-0,45 um B2 Azul : 0,45-0,51um B3 Verde : 0,53-0,59um B4 rojo : 0,64-,67 um B5 iR cercano (NIR) : 0,85-0,88 um B6 IR onda corta (SWIR)1: 1,57-1,65 B7 IR onda corta (SWIR)2: 2,11-2,29 B8 Pancromatrico : 0,50-0,68 um B9 Cirrus :1,36-1,38 um B10 TIR : 10,6-11,2 um B11 TIR : 11,5-12,5 um	185 km	Mapeo de aguas costeras. Diferenciación entre suelo y vegetación. Mapeo de vegetación. Delimitación de cuerpos de agua. Mapeo geomorfológico y geológico. Diferenciación entre nubes y nieve.	97%
6	Sentinel-1 (2014)	3 de abril del 2014	Radar de apertura Sintética (SAR)	Resolución Extra Wide Swath: 25x100 m Resolución Strip Mode: 5x5 m Resolución Wave Mode: 5x5 m Resolución Interferometric Wide Swath:5x20 m	—	250 km	Mapeos topográficos Aplicaciones glaciológicas y climatológica. Hidrología.	96%

N°	SATELITE	FECHA DE LANZAMIENTO / FINALIZACIÓN	SENSOR DE OBSERVACIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	ANCHO DE BARRIDO	APLICACIONES	PRECISIÓN
7	Sentinel-2 (2015)	23 de junio del 2015/ Aún en funcionamiento	<i>Instrumento Óptico Multiespectral (MSI)</i>	Resolución en iR cercano: 10 m Resolución iR de onda corta: 20 m Resolución de corrección atm: 60m	B1 Azul: 0,46-0,52 um B2 Verde: 0,54-0,58 um B3 Rojo: 0,65-0,68 um B4 NIR: 0,78-0,90 um B5 SWIR1: 1,57-1,66 um B6 SWIR 2: 2,10-2,28 um	290 km	Mapeos topográficos y aplicaciones glaciológicas y climatológicas y Hidrología.	96%
8	Ziyuan-3 (2012)	enero 2012	<i>Modelo digital de superficie (DSM)/Modelo digital de terreno (DTM)</i>	Resolución pancromática: 2,1 m Resolución multiespectral: 5,8 m	Banda Pancromática: 500 a 800 nm B1 Azul :450 a 520 nm B2 Verde :520 a 590 nm B3 Rojo: 630 a 690 nm B4 NIR :770 a 890 nm	52 km	Agricultura. Delimitación de cuerpos de agua.	
9	Hexágono KH-9 (1980)	18 junio de 1980	SS	—	—	—	—	—

N°	SATELITE	FECHA DE LANZAMIENTO / FINALIZACIÓN	SENSOR DE OBSERVACIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	RESOLUCIÓN ESPECTRAL	ANCHO DE BARRIDO	APLICACIONES	PRECISIÓN
10	TanDEM-X (2010)	15 de junio 2017	<i>Procesamiento y educación de datos SAR polarimétricos (PolSARpro)</i>	Resolución Staring SpotLight: 25 cm Resolución alta SpotLight: 1 m Resolución StripMap: 3 m Resolución ScanSAR: 18.5 m	Banda X: 2,8 - 5,2 cm	—	Inteligencia geoespacial/de imagen Monitoreo Marítimo. Detección de cambios. Mapeo Ambiental. Monitoreo de movimiento de superficie. Información de respuesta de emergencia.	95%
11	TerraSAR-X (2007)	21 de junio 2010	<i>Procesamiento y educación de datos SAR polarimétricos (PolSARpro)</i>	Resolución Staring SpotLight: 25 cm Resolución alta SpotLight :1 m Resolución StripMap: 3 m Resolución ScanSAR: 18.5 m Resolución Wide ScanSAR: 40 m	Banda X : 2,8 - 5,2 cm	—	Inteligencia geoespacial/de imagen. Monitoreo Marítimo. Detección de cambios. Mapeo Ambiental. Monitoreo de movimiento de superficie. Información de respuesta de emergencia.	95%

Nie et al, 2018: “La rápida retirada de la mayoría de los glaciares que terminan en lagos se acompaña de la expansión de lagos proglaciales”. La teledetección considerada como método ex situ más preciso, confiable, seguro y económico que existe actualmente. Por otra parte, el conjunto de satélites de Landsat, han demostrado ser lo más eficientes y precisos respecto a la toma de imágenes y datos satelitales para llevar a cabo el monitoreo y el mapeo de glaciares de todo tipo. Existe la posibilidad de que el aumento de la temperatura mínima invernal medio y la disminución de las nevadas que se dan en invierno sean probablemente los principales impulsores del retroceso del grosor y espesor de los glaciares, todo ello a consecuencia del aumento acelerado del cambio climático.

Alifu et al., 2020, “La diferencia de área aumentó con una disminución en la era de hielo cubierta de escombros. En particular, se observó la diferencia de área más grande en áreas de hielo cubierto de escombros derivados”. En la presente investigación, se obtuvieron datos e imágenes a través de Landsat-8, en donde se presenta un 97% de precisión, respecto a otros satélites como Sentinel-1 y 2 que tienen una precisión del 95%, en la [tabla N° 7](#) se pudo observar que aquellos satélites que utilizan SAR como radar, tienen una eficiencia menor que la de Landsat. Esta precisión no solo es clasificadora que denota eficiencia respecto al uso de satélites para poder realizar estos estudios, sino también seguridad y confiabilidad en la toma de datos que son necesarios para llevar a cabo los distintos usos que se dan actualmente.

V. CONCLUSIONES

La efectividad de las metodologías evaluadas para el monitoreo del retroceso glaciar, dependen del área en la que puede desarrollarse con total normalidad el método, teniendo en cuenta que el Método Glaciológico se limita a glaciares cuyas altitudes van de 3800 a 6000 m.s.n.m., por otro lado, el Método Geodésico se emplea en altitudes que oscilan entre 3420 a 6600 m.s.n.m. Sin embargo, el Método de Teledetección puede evaluar glaciares con altitudes abismales como lo son el Karakóram, el Everest, entre otros, que se hallan entre 6000 a 8611 m.s.n.m., que para los métodos anteriores sería casi imposible.

Según los estudios evaluados, se utilizó el método de teledetección en un 57%, siendo el más usado, debido a su efectividad y rapidez para la obtención de resultados de medición para el monitoreo del retroceso glaciar en el sistema de Himalayas, ante el método glaciológico y geodésico que son utilizados en un 20% y 23%, respectivamente.

Las mediciones resultan más eficientes al emplear el método de teledetección porque ha presentado un porcentaje de 97% siendo el más preciso. Por otra parte, no necesita realizar las mediciones in situ, eliminando cualquier tipo de riesgo que podría desencadenarse en un accidente o incidente. También se ha comprendido que la variación del clima del glaciar podría presentar algún inconveniente, pero al ser el margen de error casi imperceptible, los resultados no pierden su valor real, ante ello se han utilizado los satélites Landsat, el satélite Sentinel-1 cuenta con una precisión del 96% y para el conjunto de TanDEM-X y TerraSAR, una precisión del 95%.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda el desarrollo de nuevos estudios e investigaciones acerca del retroceso glaciar en las distintas montañas del mundo, aplicando el método de teledetección, de manera que se obtendrán resultados más eficientes a largo y corto plazo, y a su vez, las autoridades y/o involucrados pueden aplicar las medidas de mitigación correctas.

Es recomendable que, teniendo conocimiento del nivel de importancia de la teledetección, se efectúen más evaluaciones en la cordillera de los Andes en Sudamérica. Del mismo modo, se fomente el desarrollo de normativas para un eficaz monitoreo de pérdida de masa glaciar, generado por el cambio climático y actividades antropogénicas.

Luego de conocer los porcentajes de precisión en cada satélite evaluado en los distintos artículos estudiados, se recomienda tomar como ejemplo para aplicar el método de teledetección en la problemática existente en los glaciares más afectados por el cambio climático ubicados en nuestra cordillera blanca.

REFERENCIAS

1. THAPLIYAL y M. KIMOTHI, 2013. Raktavarna bamak, chaturangi bamak y Swachand bamak se encuentran en la ladera noreste de Srikailash, Man Parvat, Satopanth y un grupo de picos sin nombre. Glaciares del Himalaya en el subcontinente indio. *Ciencia Medioambiental*,
2. ABDULLAH, T., ROMSHOO, S.A. y RASHID, I., 2020. The satellite observed glacier mass changes over the Upper Indus Basin during 2000–2012. *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, pp. 14285. ISSN 2045-2322. DOI 10.1038/s41598-020-71281-7.
3. ALIFU, H., VUILLAUME, J.F., JOHNSON, B.A. y HIRABAYASHI, Y., 2020. Machine-learning classification of debris-covered glaciers using a combination of Sentinel-1/-2 (SAR/optical), Landsat 8 (thermal) and digital elevation data. *Geomorphology*, vol. 369. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2020.107365.
4. ARKANJUN, 2013. Ilustración de la teledetección. ,
5. ASHRAF, A., N.R., R.R., 2012. Monitoring and estimation of glacial resource of Azad Jammu and Kashmir using remote sensing and GIS techniques. *Pakistan Journal of Meteorology*, vol. 816, no. 3.
6. AZAM, M.F., WAGNON, P., BERTHIER, E., VINCENT, C., FUJITA, K. y KARGEL, J.S., 2018a. Review of the status and mass changes of Himalayan-Karakoram glaciers. *Journal of Glaciology*, vol. 64, no. 243, pp. 61-74. ISSN 00221430. DOI 10.1017/jog.2017.86.
7. AZAM, M.F., WAGNON, P., BERTHIER, E., VINCENT, C., FUJITA, K. y KARGEL, J.S., 2018b. Review of the status and mass changes of Himalayan-Karakoram glaciers. *Journal of Glaciology*, vol. 64, no. 243, pp. 61-74. ISSN 00221430. DOI 10.1017/jog.2017.86.
8. BAMBER, J., R.A., 2007. A review of remote sensing methods for glacier mass balance determination. *Global and planetary change*, vol. 59, no. 1-4, pp. 138-148.
9. BARNETT, T.P., ADAM, J.C. y LETTENMAIER, D.P., 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions.

Nature, vol. 438, no. 7066, pp. 303-309. ISSN 0028-0836. DOI 10.1038/nature04141.

10. BHAMBRI, R., B.T., C.R.K., K.S.C., 2011. Glacier changes in the Garhwal Himalaya, India, from 1968 to 2006 based on remote sensing. *Journal of Glaciology*, vol. 57, no. 203, pp. 543-556.
11. BHAMBRI, R., HEWITT, K., KAWISHWAR, P. y PRATAP, B., 2017. Surge-type and surge-modified glaciers in the Karakoram. *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, pp. 15391. ISSN 2045-2322. DOI 10.1038/s41598-017-15473-8.
12. BHATTACHARYA, A., BOLCH, T., MUKHERJEE, K., PIECZONKA, T., KROPÁČEK, J. y BUCHROITHNER, M.F., 2016. Overall recession and mass budget of Gangotri Glacier, Garhwal Himalayas, from 1965 to 2015 using remote sensing data. *Journal of Glaciology*, vol. 62, no. 236, pp. 1115-1133. ISSN 0022-1430. DOI 10.1017/jog.2016.96.
13. BISHOP, M.K.J.K.H.M.D.R.B.S.J., 2000. Ciencia y tecnología de teledetección para estudiar los procesos glaciares en Asia alta, Ana. *Glaciolo*, vol. 31, no. 1, pp. 164-170.
14. BOLCH, T., KULKARNI, A., KÄÄB, A., HUGGEL, C., PAUL, F., COGLEY, J.G., FREY, H., KARGEL, J.S., FUJITA, K., SCHEEL, M., BAJRACHARYA, S. y STOFFEL, M., 2012. The State and Fate of Himalayan Glaciers. *Science*, vol. 336, no. 6079, pp. 310-314. ISSN 0036-8075. DOI 10.1126/science.1215828.
15. BURROUGH, P., R.M. and C.L., 2013. *Principles of Geographical Information Systems, 3erd. ed.* Oxford: s.n.
16. CALLE A., S.P., 2012. Teledetección. [en línea]. S.l.: [Consulta: 16 julio 2022]. Disponible en: http://www.aet.org.es/revistas/revista37/Revista_37_Todo.pdf#page=78.
17. CAO, B., PAN, B., WEN, Z., GUAN, W. y LI, K., 2019. Changes in glacier mass in the Lenglongling Mountains from 1972 to 2016 based on remote sensing data and modeling. *Journal of Hydrology*, vol. 578. ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2019.124010.

18. CHAHINE, M.T., 1992, 1992. The hydrological cycle and its influence on climate. *Nature*, vol. 359, no. 6394, pp. 373-380.
19. CHANCOS PILLACA, J., 1998. RETROCESO GLACIAR E IMPACTO AMBIENTAL. *Peñaherrera*. S.I.:
20. DAS, S., S.M.C., 2019. Glacier changes between 1971 and 2016 in the Jankar Chhu Watershed, Lahaul Himalaya, India. *Journal of Glaciology*, vol. 65, no. 249, pp. 13-28.
21. DEHECQ, A., G.N., T.E., 2015. Deriving large-scale glacier velocities from a complete satellite archive: application to the Pamir–Karakoram–Himalaya. *Remote Sensing of Environment*, vol. 162, pp. 55-66.
22. DOBHAL, D.P., M.M., S.D., 2013. Influence of debris cover on terminus retreat and mass changes of Chorabari Glacier, Garhwal region, central Himalaya, India. *Journal of Glaciology*, vol. 59, no. 217, pp. 961-971.
23. DOBHAL, D.P., PRATAP, B., BHAMBRI, R. y MEHTA, M., 2021. Mass balance and morphological changes of Dokriani Glacier (1992–2013), Garhwal Himalaya, India. *Quaternary Science Advances*, vol. 4. ISSN 26660334. DOI 10.1016/j.qsa.2021.100033.
24. DULZAIDES IGLESIAS, M. and M.G.A., 2004. Análisis documental y de información: Componentes de un mismo proceso. *Journal article*, vol. 12, no. 2, pp. 2.
25. ESA, 2017. Agencia Espacial Europea. .
26. EVANS, D., 2014. *GLACIAL LANDSYSTEMS*. S.I.: Routledge. ISBN 9781444119169.
27. FRANCOU, B. and P.B., 2008. Glaciares: ¿Cómo y dónde estudiarlos? *Redesma*, vol. 2, pp. 9-17.
28. GARG, P.K., SHUKLA, A. y JASROTIA, A.S., 2019. On the strongly imbalanced state of glaciers in the Sikkim, eastern Himalaya, India. *Science of the Total Environment*, vol. 691, pp. 16-35. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.07.086.
29. GARG, P.K., SHUKLA, A., TIWARI, R.K. y JASROTIA, A.S., 2017. Assessing the status of glaciers in part of the Chandra basin, Himachal Himalaya:

A multiparametric approach. *Geomorphology*, vol. 284, pp. 99-114. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2016.10.022.

30. GARG, P.K., YADAV, J.S., RAI, S.K. y SHUKLA, A., 2022. Mass balance and morphological evolution of the Dokriani Glacier, central Himalaya, India during 1999–2014. *Geoscience Frontiers*, vol. 13, no. 1. ISSN 16749871. DOI 10.1016/j.gsf.2021.101290.
31. GARG, S., SHUKLA, A., GARG, P.K., YOUSUF, B., SHUKLA, U.K. y LOTUS, S., 2021. Revisiting the 24 year (1994-2018) record of glacier mass budget in the Suru sub-basin, western Himalaya: Overall response and controlling factors. *Science of the Total Environment*, vol. 800. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.149533.
32. HAEBERLI, W., H.M., P.F., Z.M., 2007. Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. *Annals of Glaciology*, vol. 46, pp. 150-160.
33. HERNANDEZ, F. y B., 2014. *Metodología de la Investigación Sexta edición*. S.l.: s.n.
34. HIDALGO I., 2021. Cambio climático y seguridad: Riesgos físicos y geopolíticos. ,
35. HUANG, L., LI, Z., ZHOU, J.M. y ZHANG, P., 2021. An automatic method for clean glacier and nonseasonal snow area change estimation in High Mountain Asia from 1990 to 2018. *Remote Sensing of Environment*, vol. 258. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2021.112376.
36. IMMERZEEL W.W., V.B.L.P. and B.M.F., 2010. Climate change will affect the Asian water towers. *Science*, vol. 328, no. 5984, pp. 1382-1385.
37. JIAN-PING Y, Y.-J.D.S.-Y.L.C.-P.T., 2015. Vulnerability of mountain glaciers in China to climate change. *Advances in Climate Change Research*, vol. 6, no. 1.
38. KASE, G., F.A., and J.P., 2003. *A manual to monitoring the mass balance of mountain glaciers*. 2003. París: s.n.
39. KASER, G., 1999. A review of the modern fluctuations of tropical glaciers. *Global and Planetary Change*, vol. 22, no. 1-4, pp. 93-103. ISSN 09218181. DOI 10.1016/S0921-8181(99)00028-4.

40. KE, L., SONG, C., YONG, B., LEI, Y. y DING, X., 2020. Which heterogeneous glacier melting patterns can be robustly observed from space? A multi-scale assessment in southeastern Tibetan Plateau. *Remote Sensing of Environment*, vol. 242. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2020.111777.
41. KULKARNI, A.V., R.B.P., A.S., 2004. Monitoring of glacier mass balance in the Baspa basin using accumulation area ratio method. *Current Science*, vol. 86, pp. 101-106.
42. KULKARNI, A. v., RATHORE, B.P., SINGH, S.K. y BAHUGUNA, I.M., 2011. Understanding changes in the Himalayan cryosphere using remote sensing techniques. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 32, no. 3, pp. 601-615. ISSN 0143-1161. DOI 10.1080/01431161.2010.517802.
43. KUMAR, Dharendra, SINGH, A.K., TALOOR, A.K. y SINGH, D. sen, 2021a. Recessional pattern of Thelu and Swetvarn glaciers between 1968 and 2019, Bhagirathi basin, Garhwal Himalaya, India. *Quaternary International*, vol. 575-576, pp. 227-235. ISSN 10406182. DOI 10.1016/j.quaint.2020.05.017.
44. KUMAR, Dharendra, SINGH, A.K., TALOOR, A.K. y SINGH, D. sen, 2021b. Recessional pattern of Thelu and Swetvarn glaciers between 1968 and 2019, Bhagirathi basin, Garhwal Himalaya, India. *Quaternary International*, vol. 575-576, pp. 227-235. ISSN 10406182. DOI 10.1016/j.quaint.2020.05.017.
45. KUMAR, Rajesh, KUMAR, Ramesh, SINGH, S., SINGH, A., BHARDWAJ, A. y CHAUDHARY, H., 2019. Hydro-geochemical characteristics of glacial meltwater from Naradu Glacier catchment, Western Himalaya. *Environmental Earth Sciences*, vol. 78, no. 24, pp. 683. ISSN 1866-6280. DOI 10.1007/s12665-019-8687-0.
46. KUMAR, Vinit, SHUKLA, T., MEHTA, M., DOBHAL, D.P., SINGH BISHT, M.P. y NAUTIYAL, S., 2021. Glacier changes and associated climate drivers for the last three decades, Nanda Devi region, Central Himalaya, India. *Quaternary International*, vol. 575-576, pp. 213-226. ISSN 10406182. DOI 10.1016/j.quaint.2020.06.017.

47. LI, G., LIN, H. y YE, Q., 2018. Heterogeneous decadal glacier downwasting at the Mt. Everest (Qomolangma) from 2000 to ~ 2012 based on multi-baseline bistatic SAR interferometry. *Remote Sensing of Environment*, vol. 206, pp. 336-349. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2017.12.032.
48. LI, J., LI, Z. wei, ZHU, J. jun, LI, X., XU, B., WANG, Q. jie, HUANG, C. lin y HU, J., 2017. Early 21st century glacier thickness changes in the Central Tien Shan. *Remote Sensing of Environment*, vol. 192, pp. 12-29. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2017.02.003.
49. LI, S., YAO, T., YU, W., YANG, W. y ZHU, M., 2019. Energy and mass balance characteristics of the Guliya ice cap in the West Kunlun Mountains, Tibetan Plateau. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 159, pp. 71-85. ISSN 0165232X. DOI 10.1016/j.coldregions.2018.12.001.
50. LIU, L., JIANG, L., JIANG, H., WANG, H., MA, N. y XU, H., 2019. Accelerated glacier mass loss (2011–2016) over the Puruogangri ice field in the inner Tibetan Plateau revealed by bistatic InSAR measurements. *Remote Sensing of Environment*, vol. 231. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2019.111241.
51. LIU, Q., MAYER, C., WANG, X., NIE, Y., WU, K., WEI, J. y LIU, S., 2020. Interannual flow dynamics driven by frontal retreat of a lake-terminating glacier in the Chinese Central Himalaya. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 546. ISSN 0012821X. DOI 10.1016/j.epsl.2020.116450.
52. MAJEED, U., RASHID, I., SATTAR, A., ALLEN, S., STOFFEL, M., NÜSSER, M. y SCHMIDT, S., 2021. Recession of Gya Glacier and the 2014 glacial lake outburst flood in the Trans-Himalayan region of Ladakh, India. *Science of the Total Environment*, vol. 756. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.144008.
53. MENZIES, J., 1995. *Modern Glacial Environments Processes, Dynamics and Sediments Glacial Environments Butterworth-Henemann*. S.l.: s.n.
54. MISHRA, N.B., MILES, E.S., CHAUDHURI, G., MAINALI, K.P., MAL, S., SINGH, P.B. y TIRUWA, B., 2022. Quantifying heterogeneous monsoonal melt on a debris-covered glacier in Nepal Himalaya using

- repeat uncrewed aerial system (UAS) photogrammetry. *Journal of Glaciology*, vol. 68, no. 268, pp. 288-304. ISSN 0022-1430. DOI 10.1017/jog.2021.96.
55. MURTAZA, K.O., DAR, R.A., PAUL, O.J., BHAT, N.A. y ROMSHOO, S.A., 2021. Glacial geomorphology and recent glacial recession of the Harmukh Range, NW Himalaya. *Quaternary International*, vol. 575-576, pp. 236-248. ISSN 10406182. DOI 10.1016/j.quaint.2020.08.044.
56. MURTAZA, K.O., R.S.A., 2017. Recent glacier changes in the Kashmir alpine Himalayas, India. , vol. 32, no. 2, pp. 188-205.
57. NARAMA, C., DAIYROV, M., TADONO, T., YAMAMOTO, M., KÄÄB, A., MORITA, R. y UKITA, J., 2017. Seasonal drainage of supraglacial lakes on debris-covered glaciers in the Tien Shan Mountains, Central Asia. *Geomorphology*, vol. 286, pp. 133-142. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2017.03.002.
58. NASA, 2021. landsat.gsfc.nasa.gov. ,
59. NECKEL, N., LOIBL, D. y RANKL, M., 2017. Recent slowdown and thinning of debris-covered glaciers in south-eastern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 464, pp. 95-102. ISSN 0012821X. DOI 10.1016/j.epsl.2017.02.008.
60. NIE, Y., LIU, Q., WANG, J., ZHANG, Y., SHENG, Y. y LIU, S., 2018a. An inventory of historical glacial lake outburst floods in the Himalayas based on remote sensing observations and geomorphological analysis. *Geomorphology*, vol. 308, pp. 91-106. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2018.02.002.
61. NIE, Y., LIU, Q., WANG, J., ZHANG, Y., SHENG, Y. y LIU, S., 2018b. An inventory of historical glacial lake outburst floods in the Himalayas based on remote sensing observations and geomorphological analysis. *Geomorphology*, vol. 308, pp. 91-106. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2018.02.002.
62. NIE, Y., SHENG, Y., LIU, Q., LIU, L., LIU, S., ZHANG, Y. y SONG, C., 2017. A regional-scale assessment of Himalayan glacial lake changes using satellite observations from 1990 to 2015. *Remote Sensing of*

- Environment*, vol. 189, pp. 1-13. ISSN 00344257. DOI 10.1016/j.rse.2016.11.008.
63. PANDEY, A., SARKAR, M.S., KUMAR, M., SINGH, G., LINGWAL, S. y RAWAT, J.S., 2018. Retreat of Pindari glacier and detection of snout position using remote sensing technology. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 11, pp. 64-69. ISSN 23529385. DOI 10.1016/j.rsase.2018.04.011.
64. PANDEY, P., 2019. Inventory of rock glaciers in Himachal Himalaya, India using high-resolution Google Earth imagery. *Geomorphology*, vol. 340, pp. 103-115. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2019.05.001.
65. PAUL, F., B.N.E., B.S., B.E., B.T., C.K., M." N., 2013. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data. *Annals of Glaciology* , vol. 54, no. 63, pp. 171-182.
66. PAUL, F. y BOLCH, T., 2015. La iniciativa del Cambio Climático de los Glaciares:"Métodos para crear productos de velocidad y cambio de elevación del área de los glaciares". *Sensores Remotos Reinara*, vol. 162, pp. 408-426.
67. PEREZ GUTIERREZ C., M.N.A., 2006. *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. S.l.: s.n.
68. PETERSON, L.C., H.G.H., H.K.A., R.U., 2000, 2000. Rapid changes in the hydrologic cycle of the tropical Atlantic during the last glacial. *Science* , vol. 290, no. 5498, pp. 1947-1951.
69. PRITCHARD, H.D., 2017. Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought. *Nature*, vol. 545, no. 7653, pp. 169-174.
70. RABASSA, J.O., 2011. El impacto del cambio climático en los glaciares Patagónicos y Fueguinos. . S.l.: s.n., pp. 40-46.
71. RACOVITEANU, A.E., W.M.W., B.R.G., 2008. Optical remote sensing of glacier characteristics: a review with focus on the Himalaya. *Sensors*, vol. 8, no. 5, pp. 3355-3383.
72. RASHID, I., MAJEED, U., NAJAR, N.A. y BHAT, I.A., 2021. Retreat of Machoi Glacier, Kashmir Himalaya between 1972 and 2019 using remote sensing methods and field observations. *Science of the Total*

Environment, vol. 785. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.147376.

73. RAUP, B., KÄÄB, A., KARGEL, J.S., BISHOP, M.P., HAMILTON, G., LEE, E., PAUL, F., RAU, F., SOLTESZ, D., KHALSA, S.J.S., BEEDLE, M. y HELM, C., 2007. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project. *Computers & Geosciences*, vol. 33, no. 1, pp. 104-125. ISSN 00983004. DOI 10.1016/j.cageo.2006.05.015.
74. RIVERA. A., BOWN, F., NAPOLEONI, F., MUÑOZ, C. y VUILLE, M., 2016. *Balance de masa glaciar*. Valdivia, Chile: s.n.
75. SCHERLER, D., BOOKHAGEN, B. y STRECKER, M.R., 2011. Spatially variable response of Himalayan glaciers to climate change affected by debris cover. *Nature Geoscience*, vol. 4, no. 3, pp. 156-159. ISSN 1752-0894. DOI 10.1038/ngeo1068.
76. SEARLE, M.P. and T.P.J., 2019. Introduction to Himalayan tectonics: a modern synthesis. *Geological Society*, vol. 483, pp. 1-17.
77. SEIF, A., E.B., 2014. Combined use of GIS and experimental functions for the morphometric study of glacial cirques, Zardkuh Mountain, Iran. *Quaternary International*, vol. 353, pp. 236-249.
78. SHUKLA, A. y GARG, P.K., 2019. Evolution of a debris-covered glacier in the western Himalaya during the last four decades (1971–2016): A multiparametric assessment using remote sensing and field observations. *Geomorphology*, vol. 341, pp. 1-14. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2019.05.009.
79. SHUKLA, A. y GARG, P.K., 2020. Spatio-temporal trends in the surface ice velocities of the central Himalayan glaciers, India. *Global and Planetary Change*, vol. 190, pp. 103187. ISSN 09218181. DOI 10.1016/j.gloplacha.2020.103187.
80. SHUKLA, A., G.S., M.M., K.V., S.U.K., 2020. Temporal inventory of glaciers in the Suru sub-basin, western Himalaya: impacts of the regional climate variability. *Earth System Science Data*, vol. 12, pp. 1245-1265.
81. SINGH, A., KUMAR, Rajesh, KUMAR, Ramesh, SINGH, K.K. y RANDHAWA, S.S., 2020. Quantification of volume loss and snout retreat from 1980

- to 2019 of baspa basin glaciers, western himalaya. *Materials Today: Proceedings*. S.I.: Elsevier Ltd, pp. 3331-3339. DOI 10.1016/j.matpr.2021.01.141.
82. SONG, C., SHENG, Y., WANG, J., KE, L., MADSON, A. y NIE, Y., 2017. Heterogeneous glacial lake changes and links of lake expansions to the rapid thinning of adjacent glacier termini in the Himalayas. *Geomorphology*, vol. 280, pp. 30-38. ISSN 0169555X. DOI 10.1016/j.geomorph.2016.12.002.
83. TALOOR, A.K., KOTHYARI, G.C., MANHAS, D.S., BISHT, H., MEHTA, P., SHARMA, M., MAHAJAN, S., ROY, S., SINGH, A.K. y ALI, S., 2021. Spatio-temporal changes in the Machoi glacier Zaskar Himalaya India using geospatial technology. *Quaternary Science Advances*, vol. 4, pp. 100031. ISSN 26660334. DOI 10.1016/j.qsa.2021.100031.
84. WAGNON, P., L.A., A.Y., K.R., S.P., V.C., C.P., 2007. Four years of mass balance on Chhota Shigri Glacier, Himachal Pradesh, India, a new benchmark glacier in the western Himalaya. *Journal of Glaciology*, vol. 53, no. 183, pp. 603-611.
85. WEI, J., LIU, S., WANG, X., ZHANG, Y., JIANG, Z., WU, K., ZHANG, Z. y ZHANG, T., 2021. Longbasaba Glacier recession and contribution to its proglacial lake volume between 1988 and 2018. *Journal of Glaciology*, vol. 67, no. 263, pp. 473-484. ISSN 0022-1430. DOI 10.1017/jog.2020.119.
86. WILLIAMS, D.L., GOWARD, S. y ARVIDSON, T., 2006. Landsat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 72, no. 10, pp. 1171-1178. ISSN 00991112. DOI 10.14358/PERS.72.10.1171.
87. YE, Q., BOLCH, T., NARUSE, R., WANG, Y., ZONG, J., WANG, Z., ZHAO, R., YANG, D. y KANG, S., 2015. Glacier mass changes in Rongbuk catchment on Mt. Qomolangma from 1974 to 2006 based on topographic maps and ALOS PRISM data. *Journal of Hydrology*, vol. 530, pp. 273-280. ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2015.09.014.
88. YE, Q., K.S., C.F., W.J., 2006. Monitoreo de las variaciones de los glaciares en la montaña Geladandong, meseta tibetana central, de 1969 a 2002

utilizando tecnología SIG y de detección remota. *J. Glaciol.*, vol. 52, pp. 537-545.

89. ZEMP, M., H.M., T.E., et al., 2019. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. *Nature*, vol. 568, pp. 382-386.
90. ZHAO, X., WANG, X., WEI, J., JIANG, Z., ZHANG, Y. y LIU, S., 2020. Spatiotemporal variability of glacier changes and their controlling factors in the Kanchenjunga region, Himalaya based on multi-source remote sensing data from 1975 to 2015. *Science of the Total Environment*, vol. 745. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.140995.

ANEXOS

ANEXO 01: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

 Universidad César Vallejo	FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL	
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	Patron de recesion de los glaciares Thelu y Swetvarn entre 1968 y 2019, cuenca Bhagirathi, Garhwal Himalaya, India	
BASE DE DATOS	AÑO DE LA PUBLICACION	LUGAR DE LA PUBLICACION
Science direct	2020	Holanda
REVISTA	Quaternary International	
AUTOR (ES):	Kumar D., et al	
PALABRAS CLAVES:	Garhwal Himalaya, glaciar Gangotri, glaciar afluente, datos satelites, retiro, precipitacion	
OBJETIVOS:	Evaluar los cambios temporales de los glaciares Swetvarn yThelu entre 1968 y 2019 en el valle glaciar Rakvarn de la cuenca Bhagirathi	
METODOLOGIA:	Landsat, Sentinel	
RESULTADOS:	"Durante los años 1968 a 2019 el morro del Swetvarn perdió ~623m de longitud total con una tasa de retroceso de 12,21ma-1, mientras que el morro del glaciar Thelu perdió 590m de longitud total (11,56ma-1). Alrededor del 16,60% de la superficie glaciar de Swetvarn y el 24,50% del glaciar Thelu también desaparecieron por completo entre 1968 y 2019. Durante este tiempo, la zona de ablación también muestra un desplazamiento de 160 m hacia arriba para el glaciar Swetvarn y 145 m para el glaciar Thelu, respectivamente."	
CONCLUSIONES:	El análisis general explica que tres tendencias climáticas de la región del Himalaya de Garhwal; (1) la variación catastrófica entre la precipitación y la temperatura durante 1960–1990, (2) el aumento gradual de la temperatura y la disminución de la precipitación, (3) el aumento de la precipitación líquida y la disminución de la precipitación sólida influye mucho en el proceso de derretimiento de la región de estudio.	

FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	Cambios en los glaciares y factor climático asociado durante las últimas 3 décadas, región de Nanda Devi Himalaya central, India	
BASE DE DATOS	AÑO DE LA PUBLICACION	LUGAR DE LA PUBLICACION
Science direct	2020	Reino Unido
REVISTA	Quaternary International	
AUTOR (ES):	Kumar V., et al	
PALABRAS CLAVES:	Himalaya central, Nanda Devi, sensibilidad de los glaciares, línea de equilibrio, altitud, teledetección	
OBJETIVOS:	Evaluar la variabilidad espacial y temporal con respecto al clima en ocho glaciares del régimen dominado por los monzones de la cuenca superior del Rishi Ganga, región de Nanda Devi, en el Himalaya Central	
METODOLOGIA:	Hexágono KH-9, Landsat ETM/OLI	
RESULTADOS:	Nuestro estudio revela que los glaciares del valle perdieron ~26 km ² (10%) de la superficie glaciada entre 1980 y 2017. El área total glaciada en 2017 es de ~217 km ² , lo que es ~26% del área total.	
CONCLUSIONES:	Los glaciares de la región han respondido a las condiciones de privación de precipitaciones desde 1980, lo que coincide con nuestra comprensión del retroceso de los glaciares debido al aumento de la temperatura, en el contexto del escenario de calentamiento global.	

FICHA DE ANÁLISIS DOCUMENTAL

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN	Cambios espacio-temporales en el glaciar Machoi del Himalaya de Zanskar India, mediante tecnología geoespacial	
BASE DE DATOS	AÑO DE LA PUBLICACION	LUGAR DE LA PUBLICACION
Science direct	2021	Reino Unido
REVISTA	Quaternary Science Advances	
AUTOR (ES):	TALLOOR A.	
PALABRAS CLAVES:	Zanskar Himalaya, retroceso de hocico, dinámica glaciar, tecnología geoespacial, cambio climático	
OBJETIVOS:	Analizar los cambios espacio temporales del glaciar Machoi usando tecnología geoespacial.	
METODOLOGIA:	Landsat	
RESULTADOS:	Los resultados demuestran que el hocico del glaciar ha retrocedido a ritmos variables, 80m (con una media de 11,43m anual) desde 1973 hasta 1980 , 120m (con una media anual 12m) desde 1980 hasta 1990, 123m (con una media anual de 12,3m) desde 1990 hasta 2000, 128m (con media anual 12,8m) desde 2000 hasta 2010 y 112m (media anual de 14m) desde 2010 hasta 2018.	
CONCLUSIONES:	Los resultados sugieren que el glaciar Machoi ha retrocedido consistentemente desde los últimos años, con una tasa de retroceso desigual. La mayor tasa de retroceso del morro(14 mt anuales) durante del periodo 2010-2018.	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis Completa titulada: "Revisión Sistemática: Análisis de Métodos de Monitoreo del Retroceso Glaciar en el Sistema de los Himalayas

", cuyos autores son CHUQUIHUANGA CHAMBA LUIS MIGUEL, MIÑAN PEÑA MILAGROS MARIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 13.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 28-11- 2022 10:45:10

Código documento Trilce: TRI - 0454386

