

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES
ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC - MACUSANI, 2019.**

PRESENTADO POR:

RENÉ BARTOLOMÉ PERALTA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO - PERÚ

2022



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](#).

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES
ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019.

PRESENTADO POR:

RENÉ BARTOLOMÉ PERALTA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

PRIMER MIEMBRO

: 
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
MSc. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

ASESOR DE TESIS

: 
Dr. SÉRGIO PAUL GUTIERREZ CASTILLO

Área: Ciencias Naturales.

Disciplina: Meteorología y ciencias Atmosféricas

Especialidad: Investigaciones en Clima.

Puno, 20 de abril de 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi adorada familia, a Mery mi compañera de vida, Fabrizio mi querido hijo y a mi madre Ysabel quienes han sabido entender y apoyarme con su comprensión y paciencia durante la realización de esta tesis.

A mi querida Sobrina Yeni y su hija Aslin quienes descansan eternamente a lado de nuestro creador.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis es una experiencia vital, que marcará un hito en mi vida profesional en la que compartí momentos y vivencias gratas, comprendiendo los fenómenos de la naturaleza y aprendiendo a convivir con ella.

- En primer lugar, a la Universidad Privada San Carlos.
- A mis docentes de pre grado quienes despertaron en mí la curiosidad de experimentar y comprender los fenómenos de la naturaleza.
- Al Dr. Sergio Paul Gutiérrez Castillo , quien me inspira con su profesionalismo y forma de ver el mundo quien es parte de este proyecto como asesor.
- A la Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta, a quien guardo gran admiración por destacar como docente y profesional desde inicios de mi formación universitaria.
- También quisiera agradecer de forma especial a mis hermanos y toda mi familia por su apoyo incondicional durante la elaboración del presente trabajo.
- Finalmente debo también agradecer a todos los que de una forma directa o indirectamente hicieron posible la culminación de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA
INVESTIGACIÓN**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. NIVEL INTERNACIONAL	15
1.2.2. NIVEL NACIONAL	20
1.2.3. NIVEL LOCAL	20

1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	22
2.1.1. GLACIARES	22
2.1.2. PARTES DE UN GLACIAR	23
2.1.3. FORMACIÓN DE GLACIARES	23
2.1.4. GLACIARES DEL PERÚ ÉNFASIS DE CARABAYA	24
2.1.5. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS GLACIARES	25
2.1.6. MARCO REFERENCIAL	26
2.1.6.1. SISTEMA DE GLACIARES ARTIFICIAL	26
2.1.6.2. SISTEMA Y SUS REQUERIMIENTOS	26
2.1.6.3. Sistema de captación y transporte del agua.	26
2.1.6.4. Sistema vertical de impulsión	26
2.1.6.5. Aspersor.	27
2.1.6.6. Estructura de soporte.	27
2.1.7. MÉTODOS DE MEDICIÓN AMBIENTALES Y DEL SISTEMA.	28
2.1.7.1. Temperatura.	28

2.1.7.2. Aforo con flotadores.	28
2.1.7.3. Disponibilidad hídrica.	28
2.2. MARCO CONCEPTUAL	29
2.3. HIPÓTESIS	30
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	31

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	32
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	35
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	35
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	38
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO	38

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN	39
4.1.1. DISEÑO DEL SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO CON TUBERÍAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) CAPAZ DE FORMAR GLACIARES ARTIFICIALES.	39

4.1.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL AGUA EN ESTADO SÓLIDO DEL SISTEMA	44
4.1.3. ANÁLISIS DE LA VARIACIONES CLIMÁTICAS DE LA TEMPERATURA EN RELACIÓN CON LA EVOLUCIÓN DE LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES	49
4.1.4. ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GLACIAR ARTIFICIAL PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC - MACUSANI, 2019.	53
4.2. DISCUSIONES DE RESULTADOS	54
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rutas de acceso al Allin Ccapac.	34
Tabla 2. Medición de caudal de las fuentes	45
Tabla 3. Medición del área de los glaciares artificiales	47
Tabla 4. Monitoreo de temperatura y crecimiento glaciar	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación de un glaciar.	23
Figura 2. Ciclo de formación de hielo glaciar.	24
Figura 3. Proceso típico de una estupa de hielo.	27
Figura 4. Georeferencia del área de estudio del nevado Allin Capac	32
Figura 5. (A) Imagen satelital y (B) vista panorámica del Allin Ccapac.	33
Figura 6. Zona de aplicación del glaciar artificial.	34
Figura 7. Ubicación de los prototipos de glaciares artificiales.	35
Figura 8. Comparación del cono geométrico con el glaciar artificial.	37
Figura 9. Niveles de correlación	38
Figura 10. Partes del sistema de tuberías de policloruro de vinilo.	39
Figura 11. Instalación del prototipo 1	40
Figura 12. Instalación del prototipo 2	42
Figura 13. Instalación del prototipo 3	43
Figura 14. Instalación del prototipo 3	43
Figura 15. Toma de muestra y medida de caudal	45
Figura 16. Medición de volumen en los riachuelos	46
Figura 17. Área de los prototipos glaciares	48
Figura 18. Área de formación glaciar en los prototipos.	49
Figura 19. Variación de la temperatura	51
Figura 20. Crecimiento de borde inferior	52
Figura 21. Crecimiento parte central	52
Figura 22. Prototipo de glaciar	53

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01 : Operacionalización de variables.	65
ANEXO 02: Matriz de consistencia.	66
ANEXO 03: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DONDE SE REALIZARÁN LOS ENSAYOS.	67
ANEXO 04: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	68
ANEXO 05: TRASLADO DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LA INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO	69
ANEXO 06: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 01	70
ANEXO 07: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO N° 01	71
ANEXO 08: VISITA DE INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 01	72
ANEXO 09: SEGUNDA INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 01	73
ANEXO 10: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 02	74
ANEXO 11: INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 02	75
ANEXO 12: INSTALACIÓN DE PROTOTIPOS 03 Y 04	76
ANEXO 13: MONITOREO DE PROTOTIPOS 02,03 Y 04	77
ANEXO 14: MEDICIÓN DE CAUDAL.	78
ANEXO 15 : PANEL FOTOGRÁFICO	79

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal proponer un sistema para la elaboración de un prototipo empleando tuberías de policloruro de vinilo (PVC) capaz de formar glaciares artificiales en el nevado Allin Ccapac - Macusani con la finalidad de que los glaciares artificiales puedan ser una alternativa que respalde y mejore el almacenamiento hidrológico natural y la capacidad de regulación de los ecosistemas, los cuales satisfagan las necesidades de riegos locales en la temporada agrícola, por ende,. La metodología fue cuantitativa de nivel exploratorio y descriptiva de alcance longitudinal, donde los resultados demostraron que el caudal de las fuentes de alimentación fueron 2.26 l/s para el primer riachuelo que suministra agua a los prototipos 1 y 2, mientras que en el segundo riachuelo se presentó un caudal de 1.99 l/s que suministra agua a los prototipos 3 y 4. Además, el diseño vertical del prototipo originalmente propuesto no es apta para la zona rediseñando y concluyendo que el diseño horizontal es mejor, así mismo el área de la formación de hielo es irregular por lo que se midió a través de imágenes satelitales delimitando un espacio de $37.6 m^2$, $201.0 m^2$ y $81.3 m^2$ para los prototipos 2,3 y 4 respectivamente. Mientras que el promedio diario de temperatura es igual a $8.81 ^\circ C$ y el crecimiento de hielo de 2.33 cm y 5.06 cm en el borde inferior y la parte central respectivamente. Por lo tanto, se concluye que el diseño del sistema para la elaboración de un prototipo de glaciar artificial es adaptativo a la zona de aplicación con la finalidad de aprovechar las formaciones geológicas, asimismo es factible pero no reemplaza a la glaciación natural.

Palabras Claves: Glaciar, artificial, estupa de hielo, cambio climático.

ABSTRACT

The main objective of this research work was to propose a system for the development of a prototype using polyvinyl chloride (PVC) pipes capable of forming artificial glaciers in the snowy Allin Ccapac - Macusani with the purpose that artificial glaciers can be an alternative to support and improve the natural hydrological storage and regulation capacity of ecosystems, which meet the needs of local irrigation in the agricultural season, therefore,. The methodology was quantitative of exploratory and descriptive level of longitudinal scope, where the results showed that the flow rate of the feeding sources was 2.26 l/s for the first stream that supplies water to prototypes 1 and 2, while the second stream presented a flow rate of 1.99 l/s that supplies water to prototypes 3 and 4. In addition, the vertical design of the originally proposed prototype is not suitable for the area redesigned and concluding that the horizontal design is better, likewise the area of ice formation is irregular so it was measured through satellite images delimiting a space of 37.6 m², 201.0 m² and 81.3 m² for prototypes 2, 3 and 4 respectively. While the daily average temperature is equal to 8.81 °C and the ice growth of 2.33 cm and 5.06 cm in the lower edge and the central part respectively. Therefore, it is concluded that the design of the system for the development of an artificial glacier prototype is adaptive to the area of application in order to take advantage of the geological formations, it is also feasible but does not replace the natural glaciation.

Keywords: Glacier, artificial, ice stump, climate.

INTRODUCCIÓN

Los glaciares naturales son los más vulnerables y representan los principales indicadores de la variabilidad climática, pues a medida que la escasez de agua aumenta y el retroceso y la desaparición de las masas de hielo se aceleran, lo que está en peligro son los depósitos de agua dulce en los picos más altos del mundo (Foster et al., 2019). En este contexto, a nivel nacional se evidenció en el año 2019 un registro de 2 025 glaciares distribuidos en 18 cordilleras de 11 regiones, los cuales en las últimas décadas han presentado un proceso de deglaciación acelerado que causa una disminución en el aporte hídrico hacia las cuencas para la agricultura local (Autoridad Nacional del Agua, 2021).

Por consiguiente, es fundamental encontrar modos que respalden y mejoren el almacenamiento hidrológico natural y la capacidad de regulación de los ecosistemas, con medidas tales como la restauración y la adaptación de estos (Verbist et al., 2018). De esta manera, los glaciares artificiales satisfacen las necesidades de riego locales en la temporada agrícola al derretirse antes de que el agua de deshielo natural de los glaciares esté disponible y al mismo tiempo, estos depósitos de hielo se enmarcan como una adaptación al cambio climático (Nüsser et al., 2019)

Por lo tanto, la elaboración de un prototipo de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) para la formación de glaciares artificiales es preciso para almacenar el recurso hídrico en estado sólido por un tiempo más prolongado para la conservación no solamente del nevado Allin Ccapac, si no también es una forma de cultivo de agua que aprovecha las bajas temperaturas y el agua obtenida de la desglaciación, donde los conos de hielo formados por este prototipo podrán emplearse en otros escenarios que cuenten con condiciones similares a la zona de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es uno de los grandes desafíos que se tiene que enfrentar como sociedad, pues los glaciares tropicales de montaña de todo el mundo están sufriendo cambios drásticos en su cobertura glaciaria debido al incremento de la temperatura, variación atemporal de las estaciones y factores antropogénicas. En consecuencia, la pérdida de los glaciares involucra problemáticas ambientales tanto en la costa como en las zonas montañosas, de esta manera para el primer caso, el deshielo es el mayor contribuyente en el aumento del espacio marítimo.

Así para mediados del siglo actual, se predice un incremento de 2°C que aumentará los océanos alrededor de 20 centímetros aproximadamente, incluso a partir del 2100, la mayoría de las grandes ciudades costeras enfrentarán niveles de mar de más de un metro más altos que los presentes, causando que el 0,5 a 5% de la población mundial se inunde cada año (Moore et al., 2018). En el caso de las zonas montañosas, el deshielo significa la fuente más importante de regadío para la agricultura porque suministran agua dulce, energía y alimentos, sin embargo, estos recursos serán cada vez más escasos en

las décadas futuras en aquellas regiones áridas y frías de todo el mundo (Nüsser et al., 2019).

Además, el aumento en la tasa global de pérdida de hielo incrementó en un 57% desde la década de 1990, de 0,8 a 1,2 billones de toneladas por año, así entre el periodo de 1994 y 2017, el derretimiento de 28 billones de toneladas de hielo causaron que el nivel del mar se eleve en $34,6 \pm 3,1$ mm (Slater et al., 2021). Mientras que a nivel nacional se evidenció que la superficie glaciar desde 1962 a 2017 se ha reducido en 53%, incluso aquellos con superficies pequeñas son los más afectados, lo cual se agravará aún más considerando que el 86% de los glaciares del Perú posee una superficie menor a 1 km² (Autoridad Nacional del Agua, 2021).

Esto demuestra que a medida que la temperatura planetaria aumente, la mayoría de los glaciares peruanos serán extintos. Además, en la localidad de Puno, la problemática ambiental de derretimiento de los glaciares se evidencia en el nevado Allin Ccapac ubicado en la cordillera de Carabaya, pues en los últimos 40 años, la cobertura glaciar presenta una reducción del 67% desde 1975 a 2015, lo cual equivale a una disminución de 17% por década y una tasa promedio de 0.89 km²/año (Díaz Aguilar et al., 2017).

Así mismo los nevados de montaña como el nevado Allin Ccapac se ven afectados por el cambio climático, intervenciones antropogénicas como la minería turismo y otras actividades del hombre

Es por esto que se plantea con la formulación y ejecución de un prototipo en la falda del nevado Allin Ccapac, capaz de formar glaciares artificiales construido de tuberías de PVC aprovechando únicamente las condiciones ambientales, la misma que tendrá la capacidad de formar estructuras de hielo y podrán ser aprovechados con diferentes fines,

entre ellas frenar el deshielo en zonas puntuales manteniendo la cobertura glaciaria y el almacenamiento de agua en estado sólido.

1.2. ANTECEDENTES

Los estudios enmarcados en el diseño de glaciares artificiales para la adaptación al cambio climático centrada en las montañas aún son relativamente escasos y solo se han llevado a cabo a nivel internacional, pues en el territorio peruano la tecnología no es aplicada, de esa manera se presentan las siguientes investigaciones:

1.2.1. NIVEL INTERNACIONAL

Oerlemans et al., (2021) tuvo el objetivo de obtener estimaciones de un modelo para calcular la evolución de un depósito de hielo artificial, para lo cual la metodología se basó en mediciones de balance de energía sobre la superficie de un glaciar con geometría de cono durante un período de 5 años, donde se introdujo un "factor de exposición". Los resultados demostraron que el glaciar puede alcanzar un volumen de 200 a 400 m³ en condiciones alpinas a 2100 m, por lo tanto, se concluye que el tamaño de la estupa de hielo es sensible a los cambios de temperatura y al factor de exposición, además el modelo también puede evaluar fácilmente los efectos de la capa de nieve, el corte del agua durante el día, diferentes fechas de inicio, el corte del agua durante vientos fuertes, entre otros.

Rasul et al., (2020) tuvo el objetivo de sintetizar las acciones de adaptación que se practican actualmente en las cadenas montañosas de los Andes, Alpes, Pamir, Tien Shan y el Himalaya en respuesta al cambio de la criosfera, para ello se llevó a cabo metodología de revisión literaria donde los resultados identificaron que los ingenieros y las comunidades locales de Ladakh y Zaskar (India) han construido infraestructuras de agua innovadoras (glaciares artificiales, estupas de hielo y bandas de barrera de nieve)

para el riego durante los períodos de déficit hídrico. Por lo tanto, se concluye que las organizaciones privadas dedicadas al sector del turismo han respondido adoptando tecnologías para la fabricación de nieve artificial.

Nüsser et al., (2019) tuvo el objetivo de examinar la eficacia de 14 depósitos de hielo a través de un análisis a largo plazo de su funcionamiento en Ladakh. Para ello se utilizaron datos satelitales multitemporales (1969-2017), fotogrametría de corto alcance y mediciones de agua en campo repetidas, de esta manera los resultados indicaron que hay cuatro tipos distintos, de los cuales la “estupa de hielo” vertical con forma cónica es elaborado con tuberías de plástico de alta densidad, enterradas en tierra para evitar el congelamiento, donde se desvía el agua por gravedad desde la zona alta del arroyo a ubicaciones preferidas. Concluye que los glaciares artificiales se adaptan notablemente al entorno físico, sin embargo, su utilidad como estrategia de adaptación al cambio climático es cuestionable porque la variabilidad climática y los peligros naturales reducen significativamente su eficacia.

Maheshwary et al., (2019) tuvo el objetivo de presentar el diseño estructural y de construcción, el proceso de diseño, la producción de componentes y la construcción in situ, y discute las limitaciones y oportunidades de las estructuras de estupas de hielo. La metodología se aplicó mediante una tecnología precisa y confiable de impresión 3D en amalgamación con material local de madera. Los resultados mostraron un prototipo con 6 módulos pentagonales y una altura final de aproximadamente 15m. Esto fue aproximado porque era inaccesible para medir y la cobertura de nieve aumentó la inexactitud. Finalmente, resistió las duras condiciones invernales y ahora resiste el verano y facilita el derretimiento del hielo.

Shaw (2018) tuvo el objetivo de proponer una serie de intervenciones en fases a gran escala para ayudar a mantener, retrasar o distribuir los recursos hídricos en el Himalaya

mediante una estupa de hielo con nuevo diseño. Para lo cual, se llevó a cabo un estudio previo de las condiciones ambientales y glaciales especulativas mensual para estimar la duración de cada fase potencial, y los meses adecuados y no adecuados para la construcción del prototipo, asimismo se describen fases del proyecto como la capacitación a participantes sobre la construcción del glaciar artificial durante el 2018-2021. Posteriormente la construcción del prototipo está prevista de 2023 hasta 2028, operando de abril a septiembre, así este método diseñado podría aplicarse como una estrategia de planificación calculada para ayudar a las comunidades tibetanas en sus luchas contra las inundaciones y la sequía.

Clouse et al., (2017) tuvo el objetivo de examinar estructuras a través de la lente de las disciplinas de diseño y considera los aspectos funcionales de un prototipo de sistema de glaciares artificiales en Ladakh. Para ello en la metodología se estudiaron seis sistemas de glaciares artificiales diferentes durante un período de dos meses de verano, lo que reveló una variedad de enfoques de diseño y construcción. Así los resultados demuestran que para los prototipos de glaciares artificiales es necesario materiales avanzados como tuberías de distribución y malla de alambre, y componentes de sistemas antiguos, como paredes de mampostería y puertas de regulación. Se concluye que el prototipo de glaciar artificial provisional para adaptarse a los desafíos de un clima de calentamiento en las comunidades agrícolas del Himalaya.

Clouse (2017) tuvo el objetivo de estudiar la arquitectura de las estupas de hielo en las aldeas de Ladakhi mediante una metodología descriptiva, des esta manera los resultados demostraron que un glaciar artificial requiere una inversión significativa en términos de energía, infraestructura de tuberías y mantenimiento, todos los cuales son insumos que deben renovarse anualmente. Además, el sistema exige atención regular en los meses de invierno, ya que las tuberías deben ser empujadas gradualmente más allá de la

corona de la estupa a medida que se forma la masa de hielo, lo cual demanda mano de obra, experiencia, supervisión y tuberías importadas que pueden estar más allá del alcance de una comunidad típica de la aldea. En conclusión, el diseño artificial podría considerarse un ejemplo de adaptación climática improvisada e inducida por emergencias que se está llevando a cabo actualmente en muchas partes diferentes del mundo.

Wangchuk (2016) desarrolló el primer prototipo de cónico de estupas de hielo con el objetivo de proporcionar agua para la agricultura en el desierto, para ello la metodología se inspiró en el trabajo experimental de ladakhi Chewang Norphel, quién creó los glaciares artificiales planos durante el período 2013-2014, sin embargo, Wangchuk consideró que el área de superficie debía ser mínima para que la estructura se protegiese del sol y fuese factible, especialmente a menor altura, gracias a este diseño, las estupas de hielo se derriten mucho más despacio que las extensiones de hielo planas. El proyecto se aplicó por una campaña de captación de fondos de Premios Rolex que financió una tubería de 2,3 km para llevar agua corriente de los glaciares a la aldea, este prototipo se construyó en el invierno de 2016-2017. Los resultados demostraron que el equipo pudo almacenar aproximadamente diez millones de litros, lo cual proporcionó 1,5 millones de litros de agua del deshielo a los 5000 jóvenes árboles plantados por los habitantes de la región durante la primavera.

Gagné (2016) tuvo el objetivo de estudiar las prácticas de crecimiento de glaciares, ya sea ampliando masas de hielo ya existentes o creando nuevos glaciares artificiales en Ladakh, para ello se llevó a cabo una metodología de revisión literaria donde se ha analizado los glaciares como una forma de suministro de agua y un lugar de intervenciones técnicas. De esta manera se concluye que la perspectiva crítica sobre el conocimiento y el lugar evita caer en el determinismo ambiental y las nociones de economía moral donde el agua se convierte en el factor más determinante en la

organización social y donde su gestión para la adaptación obligaría inevitablemente a la movilización comunitaria. Por otro lado, evita caer en la trampa de la supremacía de la tecnología sobre los recursos naturales, donde el agua se percibe como totalmente manipulable a través de la innovación tecnológica.

Nüsser y Baghel (2016) tuvieron el objetivo de estudiar la creación de glaciares artificiales, no como una invención sino como una práctica que surge de amplios cambios dentro de la dinámica de los procesos geofísicos y el marco sociopolítico. La región del Trans-Himalaya de Ladakh es especialmente útil como estudio de caso de la interacción humana con los glaciares del Himalaya. Los resultados demuestran que el conocimiento local y las intervenciones externas son difíciles de diferenciar y tienden a estar en una relación dinámica y fluida que cambia el entorno local a través de la observación local, las preocupaciones externas y las estrategias para sostener los medios de vida locales. Se concluye que es necesario desarrollar enfoques innovadores para integrar los conocimientos científicos y locales sobre el estado, la dinámica, las funciones y el uso de los recursos naturales.

Clouse (2016) tuvo el objetivo de describir tres tipos de intervenciones de diseño de paisajes congelados que se emplean actualmente en el norte de la India: glaciares artificiales, estupas de hielo y bandas de barrera de nieve. Así se llevó a cabo una metodología de revisión literaria donde se evidenció que, aunque las construcciones han sido diseñadas por ingenieros en lugar de arquitectos paisajistas, contribuyen a un conjunto más amplio de soluciones de diseño adaptadas al clima que sugieren un camino a seguir frente a las presiones ambientales inestables del futuro. En conclusión, los nacientes paisajes congelados del norte de la India presentan ideas para el trabajo de diseño adaptativo al cambio climático sobre las que construir.

1.2.2. NIVEL NACIONAL

La siembra y cosecha de agua aporta beneficios sociales y ambientales aumentando los flujos de aguas superficiales y subterráneas, conservando el medio ambiente de manera sostenible. Determinando principalmente en las técnicas de almacenamiento e infiltración y analizando las condiciones de suelo, clima, y topografía, concluye que: en el Caserío Marcopampa solo es factible las técnicas de reforestación, zanjas de infiltración y reservorios revestidos con geomembrana(Vera, 2018)

1.2.3. NIVEL LOCAL

(Ministerio del Ambiente - Perú et al., 2017)El análisis multi-temporal sobre cambios de la cobertura glaciaria en los nevados Allin Capac y Chichi Capac de la cordillera del Carabaya, muestra una pérdida de 67% de área cubierta por glaciaria en los últimos 40 años, la mayor superficie estimada es de 52.3 km² y corresponde al año de 1975, mientras que para el 2015, la superficie ha disminuido a 16.9 Km². Se estima una disminución aproximada de 17% por década y una tasa promedio de 0.89 Km²/año.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer una tecnología para la formación de glaciares artificiales en el nevado Allin Capac -Macusani.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema para la elaboración de un prototipo con tuberías de policloruro de vinilo (PVC) capaz de formar glaciares artificiales.
- Calcular el volumen del agua en estado sólido del sistema constructivo del prototipo de glaciar artificial con tuberías de policloruro de vinilo (PVC).

- Analizar las variaciones climáticas de la temperatura en relación a la altitud para la formación de glaciares artificiales en el Nevado Allin Ccapac.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. GLACIARES

Los glaciares son masas de hielo que acumula nieve por recristalización con una persistencia perenne a la escala de una vida humana, y de dimensiones igual o mayor que 1 ha y al menos 8 m de espesor (Duque, 2017), de esta manera, los glaciares funcionan como indicadores importantes del clima de la Tierra, pues el derretimiento de las áreas polares ocasiona que el ritmo al que el nivel del mar global este acelerándose, lo cual se correlaciona con el comienzo del aumento de las temperaturas mundiales (Kallenberg, 2016). Por lo tanto, comprender las relaciones entre los glaciares y la elevación del nivel del mar y el cambio climático es esencial para interpretar el pasado, vigilar el presente y predecir el futuro con la finalidad de disminuir los riesgos ambientales, por otra parte El clima es un sistema complejo por lo que su comportamiento es muy difícil de predecir. Hay tendencias a largo plazo y existen fluctuaciones cíclicas y caóticas difíciles de medir y predecir. En el estado actual de los conocimientos, nadie puede aventurarse en predecir lo que será el tiempo atmosférico del futuro más próximo y el clima de las próximas décadas(Bernex Nicole, Tejada Manuel, s. f.)

2.1.2. PARTES DE UN GLACIAR

- a) Zona de acumulación: es el que tiene la suma de nieve y hielo recolectados durante un año hidrológico (Arroyo y Artica, 2018).
- b) Zona de ablación: es la región de la masa helada donde prevalecen las formas de ablandamiento, es decir, el hielo en forma fluida, desaparición, sublimación y separación de masas de hielo (Arroyo y Artica, 2018).
- c) Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA): es la línea hipotética que aísla la zona de acumulación y la zona de remoción (Campos, 2020).

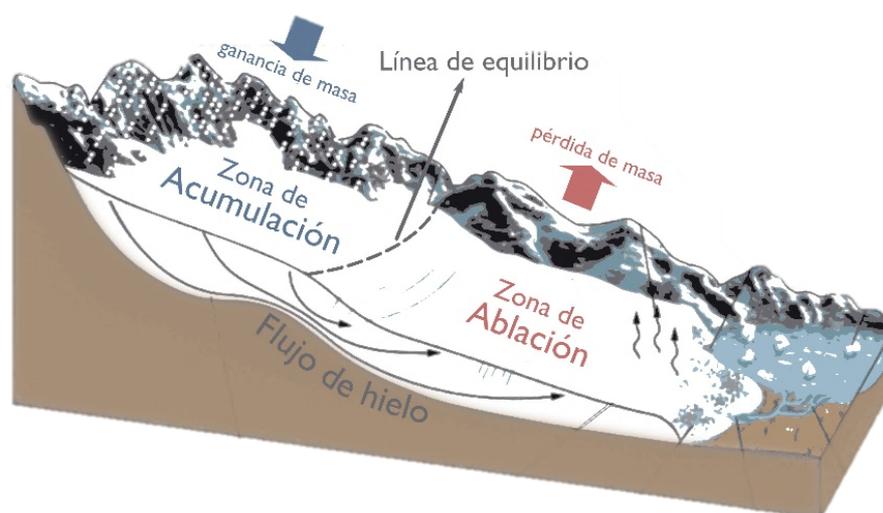


Figura 1. Zonificación de un glaciar.

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2014) citado en Quintero (2020).

2.1.3. FORMACIÓN DE GLACIARES

Los glaciares se forman en la superficie terrestre por el desplazamiento gradual de acumulaciones de nieve hacia abajo con o sin deslizamiento sobre su lecho y que llega a ser extinto por fusión en cotas bajas descargadas en lagos o mares (Marangunic, 2016),

de esta manera, el hielo del glaciar se alimenta permanentemente de la nieve que se deposita en la cima de una montaña, donde los cristales se van apisonando y compactando con el peso y el tiempo hasta formar grandes masas de hielo que presionan con enormes fuerzas a las capas inferiores (Rodríguez et al., 2021).

Por lo tanto, los procesos que acumulan hielo como las nevadas deben ser superiores a los procesos que la ablación de hielo para permitir un balance de masa glaciar que sostenga la existencia de una capa de hielo en un ciclo anual, donde se experimenta una temporada de acumulación neta de hielo debido a la nevada en el invierno, y una ablación neta de hielo debido al derretimiento en el terminal glaciar durante el verano (Kanniah, 2019). Esa dinámica depende, no solo de la pendiente, sino de la relación entre carga y pérdida, así como el clima que condiciona el límite de nieve, pues aunque aquel este en movimiento si el límite es estable la longitud no se modifica, lo contrario ocurrirá cuando se modifique el clima, el glaciar avanzará o retrocederá (Duque, 2017).



Figura 2. Ciclo de formación de hielo glaciar.

Fuente: IDEAM (2012) citado en Quintero (2020).

2.1.4. GLACIARES DEL PERÚ ÉNFASIS DE CARABAYA

Los glaciares predominantes en el Perú son las cordilleras nevadas que corresponden a superficies $\leq 1 \text{ km}^2$, representando el 87,38% (2 341) de cantidad con superficie de

464,32 Km^2 del total de los glaciares inventariados, esto evidencia que el incremento de los glaciares de menor tamaño es un indicador que los glaciares reducen su superficie. En las 19 cordilleras Nevadas según su clasificación primaria, el 79,21% de los glaciares son de tipo montaña; 13,92% de tipo valle; 3,43 % de tipo Glaciarete y campos de nieve; 1,61% tipo hielo cubierto; 1,79% de tipo incierto o diversos y el 0,04% de glaciar de flujo. Por otro lado, la cordillera Carabaya presenta 148 glaciares y una superficie glaciar de 34,53 Km^2 , con una mayor concentración de superficie glaciar en la cuenca hidrográfica Inambari, con 92,96% (Autoridad Nacional del Agua, 2021).

2.1.5. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS GLACIARES

Las emisiones de gases generados por la actividad humana, principalmente el dióxido de carbono procedente del consumo de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas, así como la tala y quema de bosques, están cambiando el clima del planeta por la concentración atmosférica de gases que atrapan la energía y el calor del sol, lo que amplifica el “efecto invernadero” natural que hace habitable la Tierra y produce un calentamiento global (Cagua, 2017) En consecuencia, la tasa de calentamiento en la troposfera inferior, aumentará con la altitud, por lo que las temperaturas subirán más en montañas altas que en elevaciones más bajas máximo se prevén incrementos de temperatura para ocurrir en las altas montañas (Greenpeace, 2018).

En la actualidad se evidencia que los ecosistemas húmedos andinos de los páramos situados en los altiplanos de la zona occidental de Venezuela, Colombia, Ecuador y al norte del Perú, han alcanzado el umbral en el que están destinados a desaparecer por completo, para muchos más, este umbral puede ser alcanzado dentro de los próximos 10 a 20 años (Verbist et al., 2018). Tan solo en el territorio peruano “se estima que la

superficie glaciar nacional se reducirá entre un 38 a 60% hacia la mitad del siglo XXI, y de 49 a 75% hacia el año 2080”(Schauwecker, 2017)

2.1.6. MARCO REFERENCIAL

2.1.6.1. SISTEMA DE GLACIARES ARTIFICIAL

Los glaciares artificiales ayudan a dirigir, atrapar, almacenar y conservar los escasos recursos hídricos, por lo que satisfacen las necesidades de riego locales en la temporada agrícola al derretirse antes de que el agua de deshielo natural de los glaciares esté disponible (Nüsser & Baghel, 2016). En la combinación de simbolismo culturalmente significativo, técnicas de construcción antiguas y nuevos materiales se ha adaptado papel activo en la gestión del agua y conservación (Clouse et al., 2017).

2.1.6.2. SISTEMA Y SUS REQUERIMIENTOS

El prototipo estará diseñado con materiales policloruro de vinilo (PVC) las cuales contarán con cuatro partes principales.

2.1.6.3. Sistema de captación y transporte del agua.

Este sistema está formado por una tubería flexible de PVC de un diámetro de 1” y 25 m de longitud, el cual estará instalado de forma horizontal a la altura del terreno, dicha tubería se conectará directamente en la toma de agua en el punto más alto del sistema y la parte baja se conectará a la tubería de PVC vertical.

2.1.6.4. Sistema vertical de impulsión

Esta parte del sistema está formado por una tubería rígida de PVC de un diámetro de 1” y 5m de longitud, el cual estará unido a la tubería flexible con un codo de 90° y un diámetro

de 1". La instalación de dicha tubería es de forma vertical apoyado con una estructura de madera el cual servirá como un punto de apoyo además en la parte superior se atarán tres alambres flexibles n°16 las que estarán ancladas al terreno para impedir que la tubería sufra inclinaciones innecesarias.

2.1.6.5. Aspersor.

El aspersor es la parte del sistema que se encargará de la distribución uniforme del agua su funcionamiento depende básicamente de la presión hidráulica que ejercerá el sistema de impulsión.

2.1.6.6. Estructura de soporte.

La estructura de soporte básicamente estará formada por material orgánico de la zona, sabiendo que el estudio se realizará en la zona en la región Puna, son muy comunes las especies arbustivas como los juncos de las lagunas. Estos crecen en grandes proporciones hasta convertirse en refugios de aves. Otro arbusto común es el ichu (Stipa ichu).

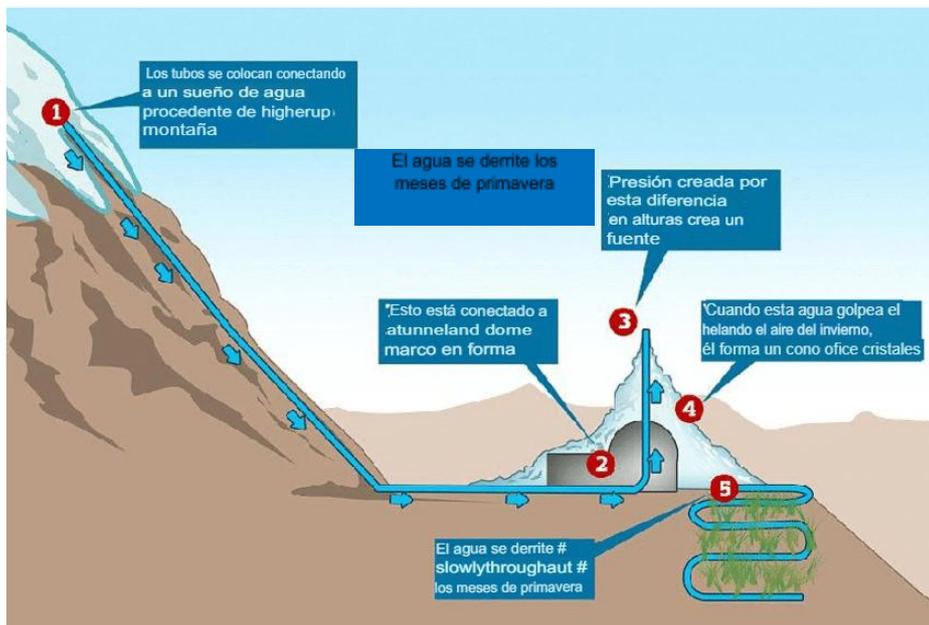


Figura 3. Proceso típico de una estupa de hielo.

Fuente: Maheshwary et al., (2019).

2.1.7. MÉTODOS DE MEDICIÓN AMBIENTALES Y DEL SISTEMA.

2.1.7.1. Temperatura.

La temperatura de un cuerpo indica en qué dirección se desplazará el calor al poner en contacto dos cuerpos que se encuentran a temperaturas distintas, ya que éste pasa siempre del cuerpo cuya temperatura es superior al que tiene la temperatura más baja; el proceso continúa hasta que las temperaturas de ambos se igualan, El calor equivale a la energía calorífica que contienen los cuerpos la temperatura es la medida del contenido de calor de un cuerpo. El instrumento utilizado para medir temperaturas se llama termómetro. Existen varios tipos de termómetros, cuya construcción varía según el uso a que se destinan y su modo de utilización (Sampedro et al., 2018).

2.1.7.2. Aforo con flotadores.

Se utiliza cuando se requiere medir en forma rápida el caudal en una corriente que presenta una lámina de pocos centímetros de profundidad, cuando se esté en presencia de grandes cantidades de material en suspensión, o cuando deba efectuarse una medición del caudal en un período muy breve, para lo cual se mide la velocidad superficial a lo ancho del cauce utilizando flotadores especialmente diseñados y suministrados para este efecto (Manuel & Calderón, 2017).

2.1.7.3. Disponibilidad hídrica.

Conocer la calidad y cantidad de agua en una zona es prioritario para la toma de decisiones en la distribución del vital líquido, tarea nada fácil cuando la información es escasa o nula. Debido a la naturaleza de un método indirecto, se requiere la comprobación en campo para mayor fiabilidad, otro aspecto de suma importancia es la

resolución de la información de entrada, los resultados dependen de la resolución del TIN (o de la precisión de las curvas de nivel), para calcular el volumen de agua retenida y la superficie (sea para el espejo de agua máximo, o para cada cota si se requiere analizar el comportamiento del volumen) (Franz, 2016).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

- Variabilidad climática: Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos.
- Hielo glacial: masa compactada e intercedida de hielo cristalino con una densidad de 830-910 kg/m³
- Glaciación: Un largo período de tiempo (más de 10,000 años) caracterizado por condiciones climáticas asociadas con la extensión máxima de los glaciares. Compare con " interglaciación " y " estadio ". También se usa para referirse a la cobertura de un área por hielo.
- Balance de energía: El balance de energía del glaciar es la suma de los aportes y salidas de energía al sistema glaciar. Si el balance es positivo, se produce un calentamiento; si es negativo, sobreviene un enfriamiento.
- Ablación: todos los procesos mediante los cuales la nieve y el hielo se pierden de un glaciar, hielo flotante o capa de nieve; o la cantidad que se funde. Estos procesos incluyen fusión, evaporación (sublimación), erosión eólica y partos.
- Abrasión: El desgaste mecánico o el esmerilado de las superficies rocosas por la fricción y el impacto de las partículas de roca transportadas por el viento, el hielo, las olas, el agua corriente o la gravedad.

- **Acumulación:** Todos los procesos que añaden nieve o hielo a un glaciar o al hielo flotante o manto de nieve: caída de nieve, avalanchas, transporte de viento, recongelación.
- **Albedo:** el porcentaje de la radiación entrante que se refleja en una superficie natural como el suelo, el hielo, la nieve, el agua. El albedo atmosférico incluye nubes y partículas en la atmósfera.
- **Glaciar alpino:** cualquier glaciar en una cadena montañosa que está confinado predominantemente por la topografía circundante. Por lo general, se origina en un circo y puede desembocar en un valle previamente excavado por un arroyo. Sinónimo: glaciar de montaña.
- **Desprendimiento:** Desgajamiento de fragmentos discretos de hielo de un glaciar, un manto de hielo o una plataforma de hielo que caen a un lago o al mar, produciendo icebergs. Es una forma de pérdida de masa de una formación de hielo.
- **Efecto radiactivo:** Repercusión en el flujo de la radiación o el índice de calentamiento (por regla general, en el flujo descendente en la parte superior de la atmósfera) causado por la interacción de un determinado elemento con los campos de radiación infrarroja o radiación solar mediante absorción, dispersión y emisión, en relación con una porción idéntica de atmósfera que carezca de ese elemento.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La elaboración de un prototipo de glaciar artificial es eficiente para la conservación del nevado Allin Ccapac -Macusani, 2019.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El diseño del sistema para la elaboración de un prototipo de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) permite la formación de glaciares artificiales.
- El volumen de agua en estado sólido, formado por el prototipo de policloruro de vinilo (PVC) es de una cantidad considerable.
- Se interpreta la relación entre temperatura y altitud del nevado Allin Ccapac para la formación de glaciares artificiales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La cordillera Carabaya se localiza en los Andes del Sur del continente Sudamericano, comprendidos entre las coordenadas de $13^{\circ} 22' 48,96''$ a $14^{\circ} 26' 11,80''$ latitud sur y $69^{\circ} 37' 16,10''$ a $71^{\circ} 25' 51,15''$ de longitud oeste; en el ramal oriental del sector sur, prolongándose en dirección $N 40^{\circ} O$, desde el glaciar Jalahuana hasta el glaciar Cerceyac, con una longitud lineal aproximada de 146 km. Esta cordillera presenta 148 glaciares con una superficie de $34,53 \text{ km}^2$; siendo el glaciar Huaman Lipani el más extenso de la cordillera con $1,88 \text{ km}^2$ y el más alto el glaciar G28958E1391S (Nevado Allin Ccapac), con una altitud de 5 804 msnm (Daniel et al., 2017).

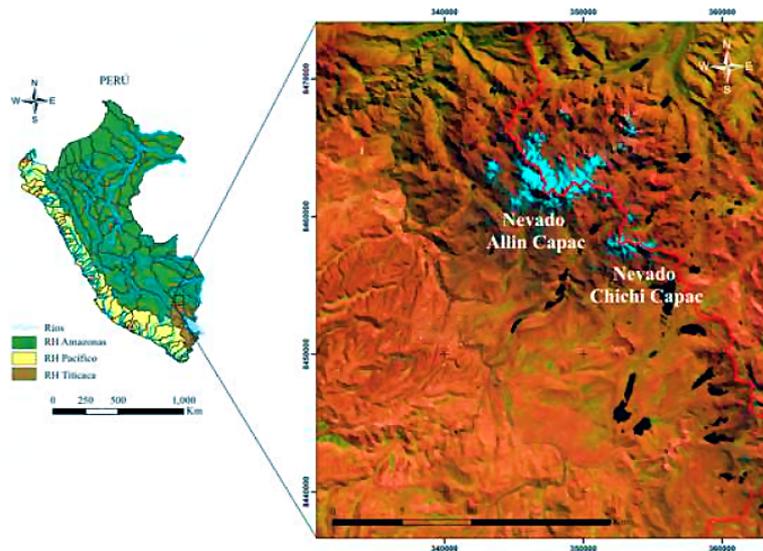


Figura 4. Georeferencia del área de estudio del nevado Allin Capac

Fuente: Díaz et al., (2017)

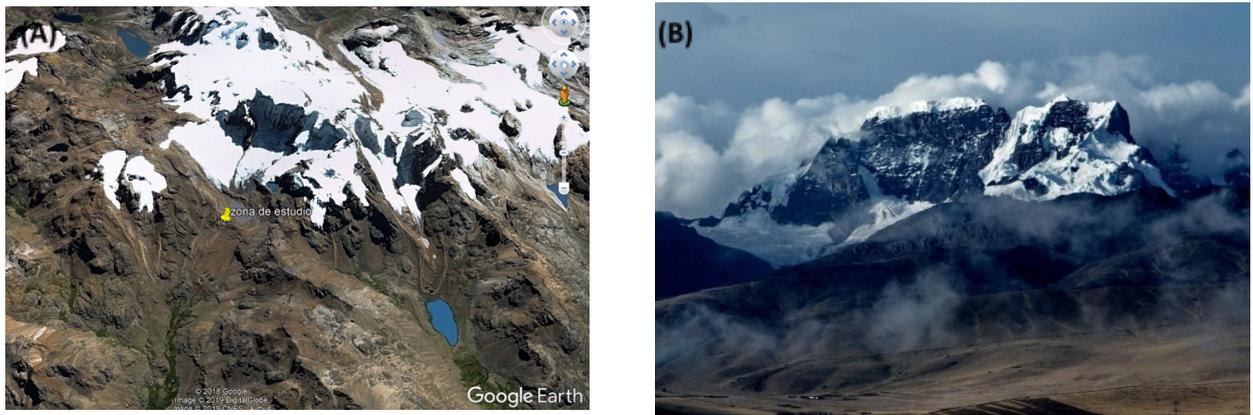


Figura 5. (A) Imagen satelital y (B) vista panorámica del Allin Ccapac.

Fuente: Google earth (2018).

Los nevados forman parte de la región hidrográfica del Amazonas (RHA), sus aguas fluyen hacia las unidades hidrográficas San Gabán (suroeste) y Esquilaya (noreste). Las tasas de precipitación según el registro histórico de la estación Macusani, varían entre 466 y 804 mm por año. La temporada de avenidas se presentan entre los meses de diciembre a marzo, con un marcado periodo de estiaje entre abril y noviembre, mientras que la temporada de bajas temperaturas (heladas) entre junio y agosto, registrando temperaturas por debajo de los 0°C (Daniel et al., 2017). El punto de aplicación del sistema se encuentra en cuatro puntos que se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 1. Rutas de acceso al Allin Ccapac.

N°	Ruta	Tiempo	Distancia	Zona de aplicación
1	Puno – Juliaca.	1 h	43 km	Sin acceso para la camioneta
2	Juliaca – Macusani.	3 h	208.5 km	Sin acceso para la camioneta
3	Macusani – C. P. Pacaje.	30 m	22 km	Sin acceso para la camioneta
4	C. P. Pacaje. – zona de estudio	3 h	25 km	Solo la mitad del camino con acceso para la camioneta

El recorrido total fue aproximadamente de 298.5 km y un tiempo promedio de 8 horas. Tomando en cuenta el cuadro de ruta solo hasta la ciudad de Macusani el traslado fue en empresas de transporte público, es así como se procedió a ir a la zona de estudio en una camioneta en calidad de arriendo, sin embargo, el punto de estudio se encuentra en una zona inaccesible para vehículos es por eso que se efectuó una caminata de aproximadamente 2 horas llevando los equipos necesarios para la aplicación del sistema.

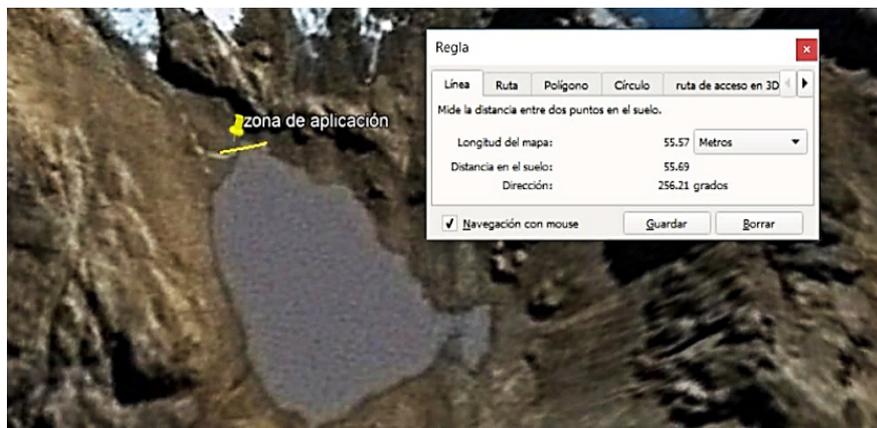


Figura 6. Zona de aplicación del glaciador artificial.

Fuente: Google earth (2018).



Figura 7.Ubicación de los prototipos de glaciares artificiales.

Fuente: Google earth (2018).

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

Población: Volumen de agua de deshielo en el Nevado de Allin Ccapac.

Tamaño de muestra: Volumen de agua de deshielo en el Nevado de Allin Ccapac.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El método empleado fue cuantitativo inductivo que permitió el desarrollo y ejecución de las experimentaciones mediante el análisis directo de la secuencia de los procedimientos y procesos para estimar las hipótesis que generarán nuevos conocimientos según los resultados (Bunge, 2017). Además, el tipo de investigación fue exploratoria ya que tiene como objetivo el descubrimiento de nuevos procedimientos, y a la vez descriptiva porque el propósito principal es describir las características y funciones (Rivera, 2016), asimismo por su alcance temporal es longitudinal debido a que se aplicó recolección de datos en diferentes periodos.

Por otro lado, la técnica que asume el presente estudio es la observación directa estructurada debido a que mide las variables de investigación utilizando parámetros definidos, numérica y estadísticamente. De esta manera se pretende responder la pregunta de investigación en forma sistemática con los controles adecuados, donde el observador permanece físicamente presente y monitorea personalmente lo que ocurre

(Trochim, 2021). Para ello, se empleó un diario de campo como instrumento de recolección de datos, donde se documentó las experiencias a través de apuntes y fotografías para luego estimar los cálculos de temperatura, caudal y volumen en gabinete, así en el primer parámetro se realizó con un termómetro ambiental digital in situ y corroborando con un termómetro de mercurio ambiental.

Mientras que el caudal fue medido por el método del flotador, en este método, se utilizó los valores promedio de las variables determinadas, considerando las características del riachuelo de agua tranquila y durante períodos de buen tiempo. Finalmente, el parámetro de volumen se midió mediante imágenes satelitales, aprovechando la forma de cono en la que se formaran los glaciares artificiales mediante el método geométrico área del cono. Para ello, Siu y Andaluz (2019) indica que es un el sólido geométrico limitado por una superficie cónica cerrada y un plano perpendicular al eje, el cual es el segmento de recta que va del vértice al centro de la base circular, mientras que la altura h del cono es el segmento perpendicular a la base que une a ésta con el vértice. Si el eje del cono es perpendicular a la base el cono se llama cono circular recto, mientras que si el eje no es perpendicular a la base el cono se llama cono oblicuo En un cono circular recto, se llama generatriz al segmento que va del vértice a un punto en la circunferencia de la base. La figura muestra un cono circular recto.

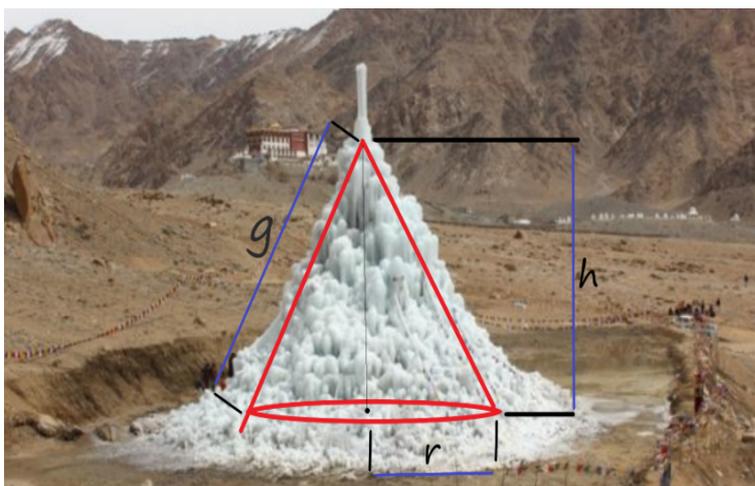


Figura 8. Comparación del cono geométrico con el glaciar artificial.

Barahona-Avecilla et al., (2021) refiere también que la superficie o área laterales de un cono está formada por todos los puntos que se obtienen al unir el vértice con cualquier punto de la circunferencia en la base del cono. Por otro lado, Las características geométricas de un cono con radio son descritas por Oerlemans et al., (2021), a continuación:

Ecuación 01: Área de la base-

$$\pi * r^2$$

Ecuación 02: Área lateral.

$$\pi r \sqrt{r^2 + h^2}$$

Ecuación 03: Volumen.

$$\frac{\pi r^2 h}{3} \text{ o } \frac{\pi h^3}{3s^2}$$

Entonces, para un volumen dado, la altura de la estupa de hielo se puede calcular a partir de la siguiente ecuación.

Ecuación 04: Altura.

$$\text{:Altura} = \left\{ \frac{3}{\pi} v s^2 \right\}^{1/3}$$

La medición se tomará in situ en el punto de investigación recurriendo a tomar nota de los datos necesarios para realizar el cálculo correspondiente en gabinete. Por otro lado, se aplicó la regresión lineal simple ($y = bx + c$) con la finalidad de interpretar la relación existente entre una variable dependiente y el conjunto de variables independientes (Pandis, 2016), de esta manera se puede establecer la relación entre la temperatura y el crecimiento glaciar en los prototipos.



Figura 9. Niveles de correlación

Fuente: Cuellar et al., (2018)

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Prototipo

Variable Dependiente: Formación de glaciares artificiales

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Por las características de los datos obtenidos y el propósito de la investigación, se hizo un análisis estadístico descriptivo con diseño nivel experimental, pues su finalidad es sujetar a un elemento a definidas condiciones, estímulos o tratamientos e indicar los cambios en la variable dependiente que fueron causados por la variable independiente, es decir, se procura establecer con precisión una relación causa-efecto (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN

4.1.1. DISEÑO DEL SISTEMA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO CON TUBERÍAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) CAPAZ DE FORMAR GLACIARES ARTIFICIALES.

El diseño del glaciar artificial propuesto consta de un tubo vertical que se unió a una varilla de acero por la parte inferior para una estructura de cúpula estable sobre la superficie terrestre, además con la finalidad de reforzar aún más la estabilidad y resistencia de la estructura, se usó cuatro cables de vientos asegurados en rocas y estacas de metal, asimismo la base se aseguró con piedras de la zona y musgo, lo cual formaba un módulo piramidal como se muestra en la siguiente figura.

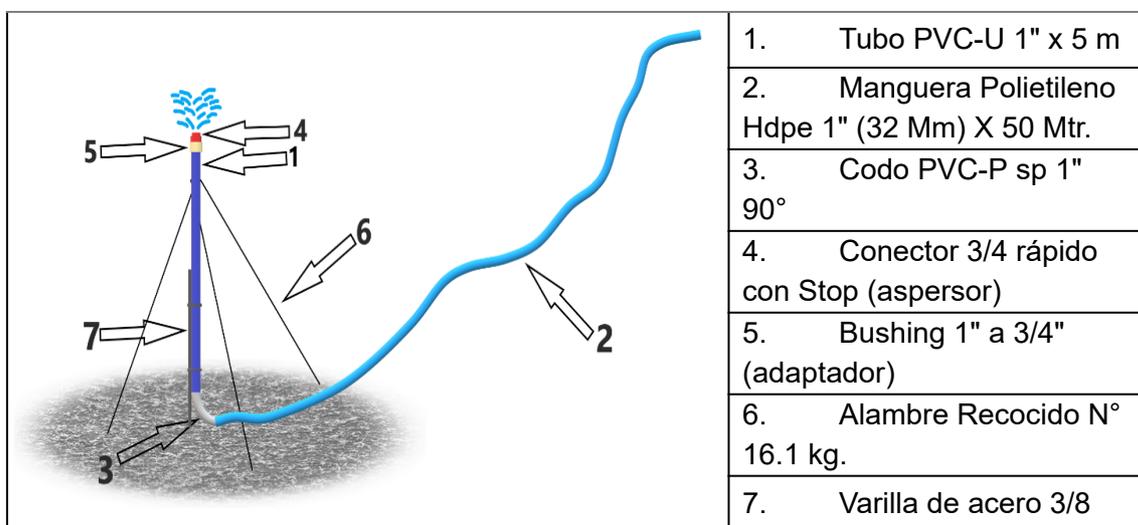


Figura 10. Partes del sistema de tuberías de policloruro de vinilo.

De esta manera, para la instalación del prototipo 1 fue necesario identificar un área adecuada, donde se preparó el material realizando cortes y ensamblando las partes como el cabezal que es un tapón de caucho con múltiples agujeros en el extremo del tubo, asimismo en el otro extremo con la ayuda de una unión L de PVC, se acopló con la tubería flexible de 25 metros. Para lo cual, las partes del prototipo formado por tuberías de policloruro de vinilo (PVC) fueron unidas con pegamento cuando fue a presión y en caso de rosca los hilos estuvieron aislados con teflón. Mientras tanto, como toma de agua se consideró una botella plástica de 2 litros que fue dividida en la parte inferior asegurada con cinta aislante con la finalidad de formar un embudo, lo cual sirvió de alimentador para la circulación del fluido hídrico (VER ANEXO C)

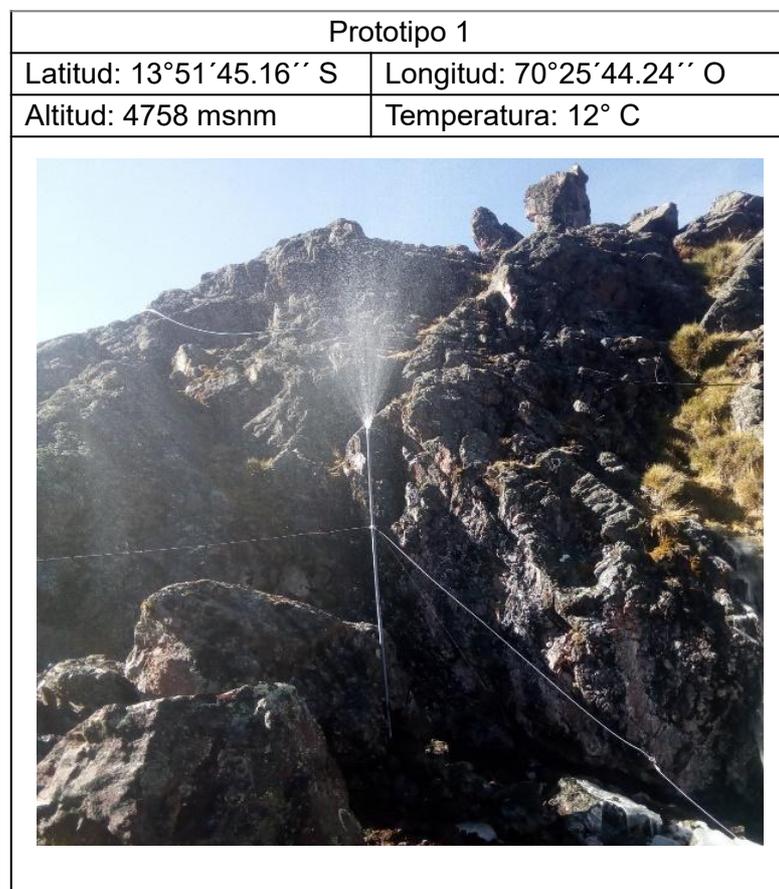


Figura 11. Instalación del prototipo 1

Sin embargo, este prototipo tuvo desprendimientos en dos ocasiones a pesar de ser reforzado con cables de vientos y material oriundo adicional para soporte, por lo que luego de un análisis e inspección detallada para justificar esta situación, se evidenció que la formación de hielo sucede dentro del tubo de policloruro de vinilo, sobre los cables de vientos y en alrededores del aspersor causando acumulación de agua sólida en los puntos de soporte estructural, lo que a su vez condiciona un peligro real para el sistema debido a que el agua congelada se dilata con respecto al volumen que tiene en su forma líquida y ese aumento de volumen genera fuerza el interior de las tuberías hasta quebrantar el material principal del sistema de glaciación artificial.

A partir de ello se determinó que el diseño estructural no era lo suficientemente fuerte para soportar las formaciones de congelación, por lo que, con el propósito de subsanar esta complicación, se redefinió el diseño para aprovechar la topografía del terreno en la instalación de los siguientes prototipos glaciares. Además, se observó que el riachuelo transporta material orgánico de la zona y sedimentos terrestres provenientes de la erosión lo que impide la circulación del agua en el sistema, aglomerándose principalmente en el aspersor, en atención a lo cual se instaló una malla de rafia de polietileno con la finalidad de filtrar elementos no deseados.

Prototipo 2	
Latitud: 13°55'43.69" S	Longitud: 7070°25'43.69" O
Altitud: 4737 msnm	Temperatura: 22° C



Figura 12. Instalación del prototipo 2

De esta manera, el prototipo 2 se situó en un pequeño peñasco a manera de suspensión en aproximadamente siete metros sobre la superficie terrestre, siendo así que el aspersor no disperse el agua sobre el sistema de glaciación artificial lo cual evita tanto la sobrecarga del hielo que se forma en la estructura evitando el desplome de esta. Además, se evidenció que el nuevo diseño adaptativo permite una mayor distancia de esparcimiento en comparación con el diseño anterior. En el caso de los prototipos 3 y 4 se adecuan las estructuras en dos puntos estratégicos separados por 40 metros entre sí, bajo las mismas condiciones que el prototipo 2

Prototipo 3	
Latitud: 13°55'43.69" S	Longitud: 70°25'40.67" O
Altitud: 4737 msnm	Temperatura: 02 ° C
	

Figura 13. Instalación del prototipo 3

Prototipo 4	
Latitud: 13°55'43.01" S	Longitud: 70°25'41.77" O
Altitud: 4751 msnm	Temperatura: 02° C
	

Figura 14. Instalación del prototipo 3

4.1.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL AGUA EN ESTADO SÓLIDO DEL SISTEMA

❖ Caudal de las fuentes de alimentación de los prototipos de glaciares artificiales

Sobre el macizo Allincapac se contempló la presencia de los dos riachuelos pequeños como afluentes que desembocan en los ríos San Gabán e Inambari, por lo tanto, se asumió R1 para el primer riachuelo que es fuente de alimentación hacia los prototipos 1 y 2, mientras que R2 para el segundo riachuelo que alimenta a los prototipos 3 y 4. De esta manera se llevó a cabo el método volumétrico empleando un recipiente de veinte litros, donde se recibió el agua y mediante cronómetro se determinó el tiempo necesario para llenarlo como se muestra en la figura.

El recipiente se colocó bajo la corriente de tal manera que reciba todo el flujo de agua al mismo tiempo se activa el cronómetro, en este proceso el cronómetro se inicio en el instante en que el recipiente se introduce a la corriente y se detiene en el momento en el que retira de ella o el balde se llena, se realizaron tres repeticiones para cada riachuelo considerando lo siguiente:

Q = Caudal en litros por segundo, l/s

V = Volumen en litros, l

T = Tiempo en segundos, s

para calcular el caudal se empleó la siguiente formula

Fórmula 05 : Cauda

$$Q = \frac{V}{T}$$



Figura 15. Toma de muestra y medida de caudal

De esta manera el procedimiento se repitió tres veces, por lo que se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2.

Medición de caudal de las fuentes

Repeticiones	Tiempo de llenado (s)	
	Riachuelo 01	Riachuelo 02
Repeticion 01	8.55	10.58
Repeticion 02	8.84	9.84
Repeticion 03	9.12	9.69
Promedio	8.84	10.3

A partir de la información de la tabla anterior se puede determinar que el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado es mayor para el sistema de captación y transporte del recurso hídrico los prototipos de glaciares artificiales 1 y 2, pues el caudal de alimentación resulta en 2.26 l/s y 1.99 l/s para R1 y R2 respectivamente.

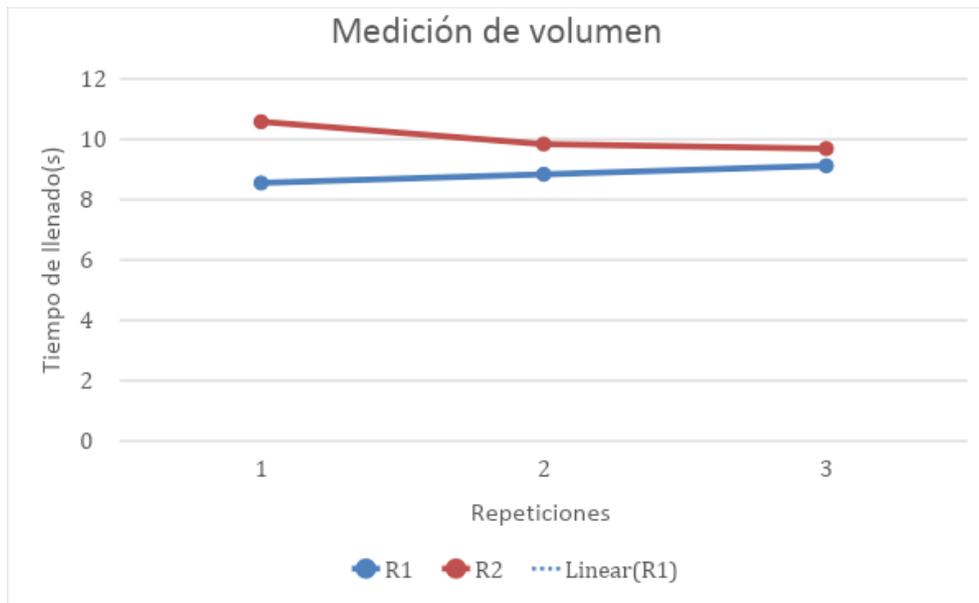


Figura 16. Medición de volumen en los riachuelos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se puede apreciar una línea de tendencia lineal en aumento para la fuente de alimentación R1, mientras que para R2 existe una tendencia de disminución en el tipo de llenado, lo cual indica que las necesidades de energía para los glaciares artificiales son adecuadas en el prototipo 1 y 2 para que el fluido circule a través de una sección de un ducto, es decir, en las tuberías del sistema vertical de impulsión hasta el aspersor que se encargará de la distribución uniforme del agua para la formación de la estupa de hielo.

Área de la formación de hielo en el sistema constructivo del prototipo de glaciar artificial

La forma cónica planteada para el cálculo de los glaciares artificiales según el proyecto de investigación no se observó, debido a las condiciones accidentadas de la superficie terrestre, por el contrario, se presentaron formaciones irregulares de hielo, las cuales se midieron el área a través de imágenes satelitales en Google earth. Además, es importante indicar que el prototipo 1 fue suprimido del estudio debido a las dificultades que presentó en su instalación.

Tabla 3.

Medición del área de los glaciares artificiales

Medidas	Prototipo de glaciar artificial			
	Prototipo 01	Prototipo 02	Prototipo 03	Prototipo 04
Perímetro (m)	00	23.1	55.0	42.4
Área (m ²)	00	37.6	201.0	81.3

Asimismo, se llevó a cabo un monitoreo previo al análisis de evolución de la masa glaciar con la finalidad de verificar que el soporte estructural del sistema permanezca estable la superficie y resistente a las condiciones naturales de la zona de estudio. En este contexto, se percibió una formación de manta de hielo en el prototipo 2 por debajo del aspersor cubriendo por completo las rocas en formas de velas, asimismo se registró un centímetro de altura en los sectores más alejados, mientras que en los puntos más altos de 4 cm a 7 cm. De la misma manera se verifica que los prototipos 3 y 4 muestran formaciones de hielo que alcanzan un espesor de 4 cm en las partes más altas.

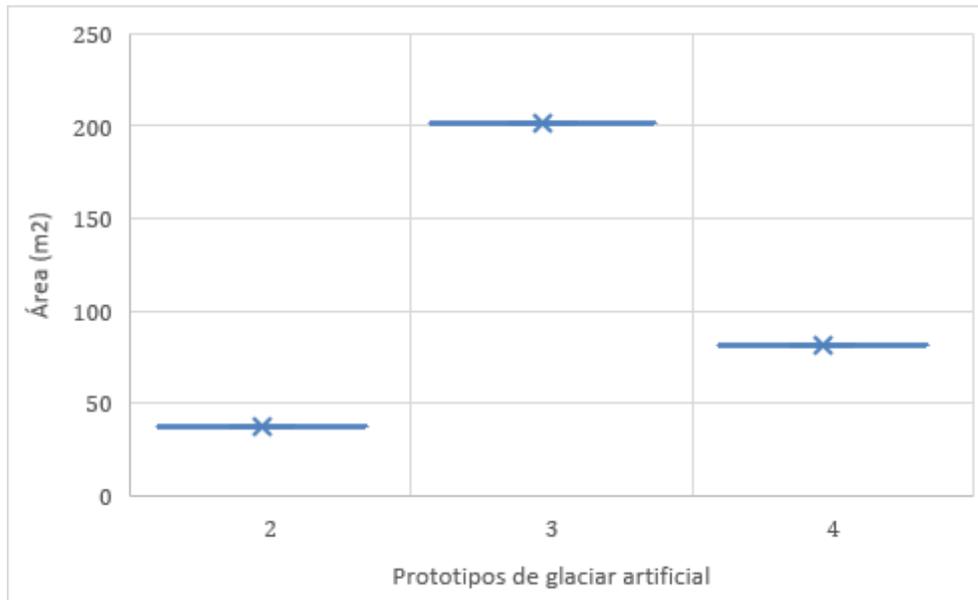


Figura 17. Área de los prototipos glaciares

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 2 y figura 17 se puede observar que el tercer prototipo presenta mayor área de formación de hielo, sin embargo, en el segundo prototipo se constituyó un espacio similar a la mitad de un semicírculo por lo que su radio resultó en 4.80 m.

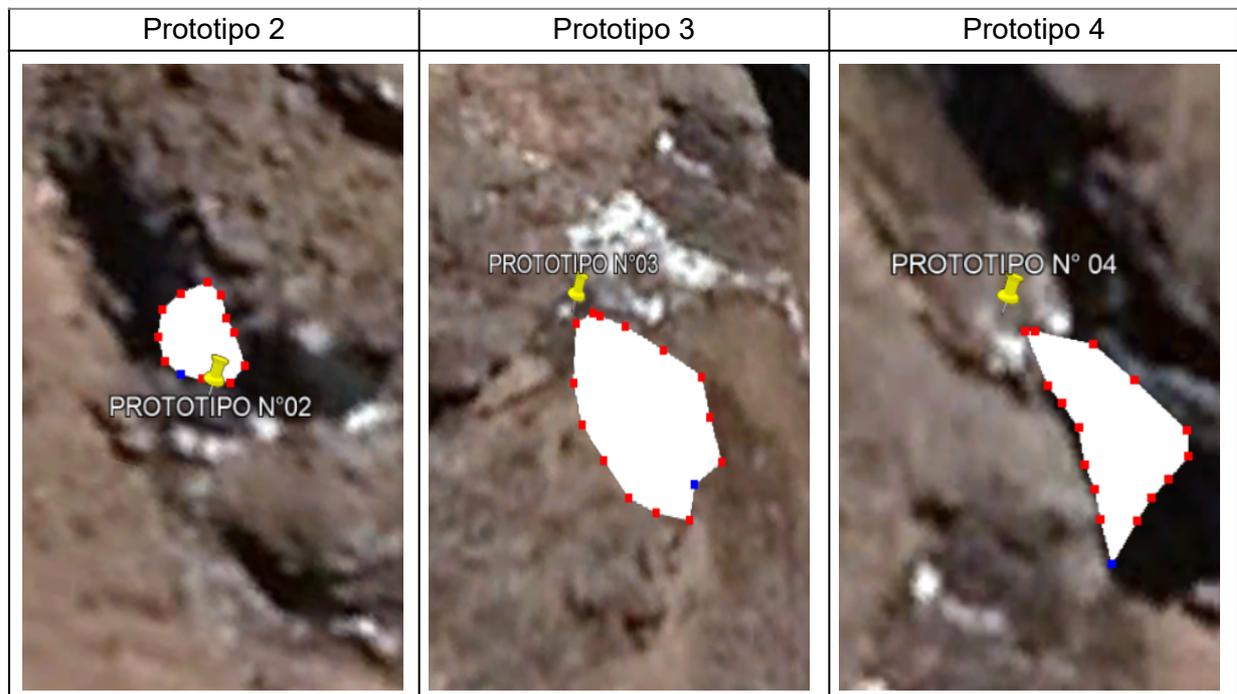


Figura 18. Área de formación glaciaria en los prototipos.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS DE LA TEMPERATURA EN RELACIÓN CON LA EVOLUCIÓN DE LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES

Para estimar el impacto de la temperatura sobre los valores esperados de formación de glaciares se llevó a cabo un monitoreo permanente por un periodo de 18 días desde el 22 de junio del 2019 registrando diariamente la temperatura y el crecimiento de los cuerpos de hielo, considerando únicamente el prototipo 2 debido a que los otros sistemas glaciares presentan difícil acceso, de esta manera los datos que se presentan a continuación.

Tabla 4.
Monitoreo de temperatura y crecimiento glaciar

Fecha de monitoreo	Temperatura (°C)	Crecimiento glaciar	
		Borde inferior (cm)	Parte central (cm)
22-Jun-19	-10.0	2	4
23-Jun-19	-11.6	3	6
24-Jun-19	-12.0	5	9
25-Jun-19	-11.4	8	13
26-Jun-19	-9.6	10	17
27-Jun-19	-9.0	13	22
28-Jun-19	-6.0	15	26
29-Jun-19	-4.0	17	30
30-Jun-19	-6.6	21	34
01-Jul-19	-10.4	23	37
02-Jul-19	-8.0	26	40
03-Jul-19	-10.8	28	44
04-Jul-19	-6.0	31	50
05-Jul-19	-4.0	34	57
06-Jul-19	-8.6	37	65
07-Jul-19	-7.4	40	73
08-Jul-19	-9.0	41	80
09-Jul-19	-11.4	42	87
10-Jul-19	-11.6	44	98
Promedio	-8.81	2.33	5.06

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la temperatura se considera como estación base Macusani para la estimación del gradiente, donde se puede apreciar un promedio diario de $-8.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una línea de regresión lineal simple de $R^2= 0.0266$ lo cual indica que no existe correlación directa entre la temperatura y la formación de masas de agua solida debido a que la glaciación requiere de periodos de larga duración con baja temperatura global para conseguir una expansión del hielo sobresaliente, sin embargo, este escenario no se ha observado desde hace 12 000 años, pues por el contrario, se está experimentando un calentamiento acentuado por el incremento de los gases de efecto invernadero.

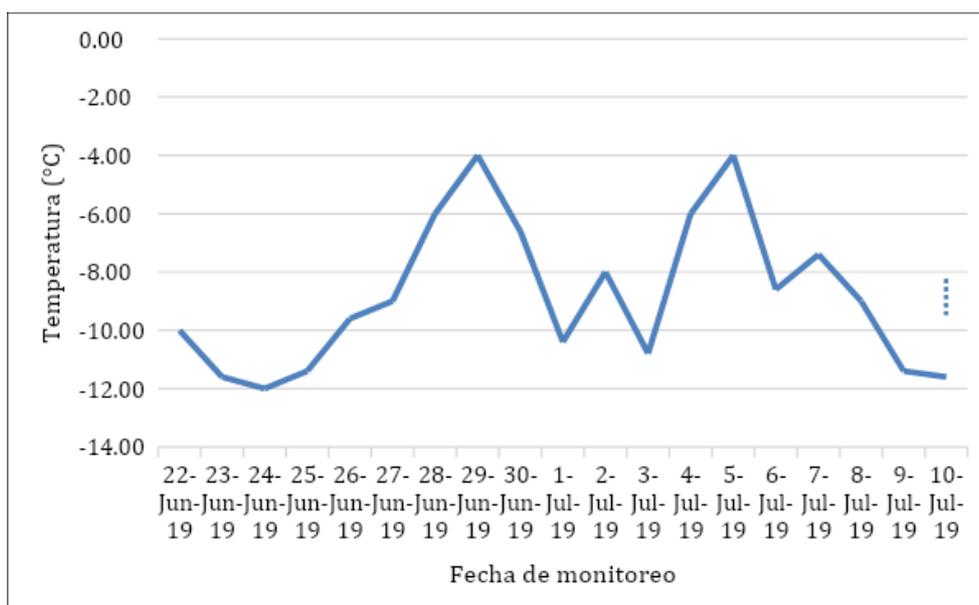


Figura 19. Variación de la temperatura

En el caso de la evolución de la formación de glaciares artificiales se puede observar la parte central del sistema presenta un engrosamiento mayor, pues el promedio diario es de 2.33 cm y 5.06 cm en el borde inferior y la parte central respectivamente. Esto tiene explicación en la distancia en que se dispersa del agua puesto que se sitúa en un punto fijo con dirección directa hasta el aspersor donde el fluido es dispuesto constantemente, en cambio, sobre las zonas alejadas el fluido cae por su propio peso desde la fuente

elevada en la que se encuentra la estructura del prototipo o puede ser transportado por el viento en pequeñas cantidades.

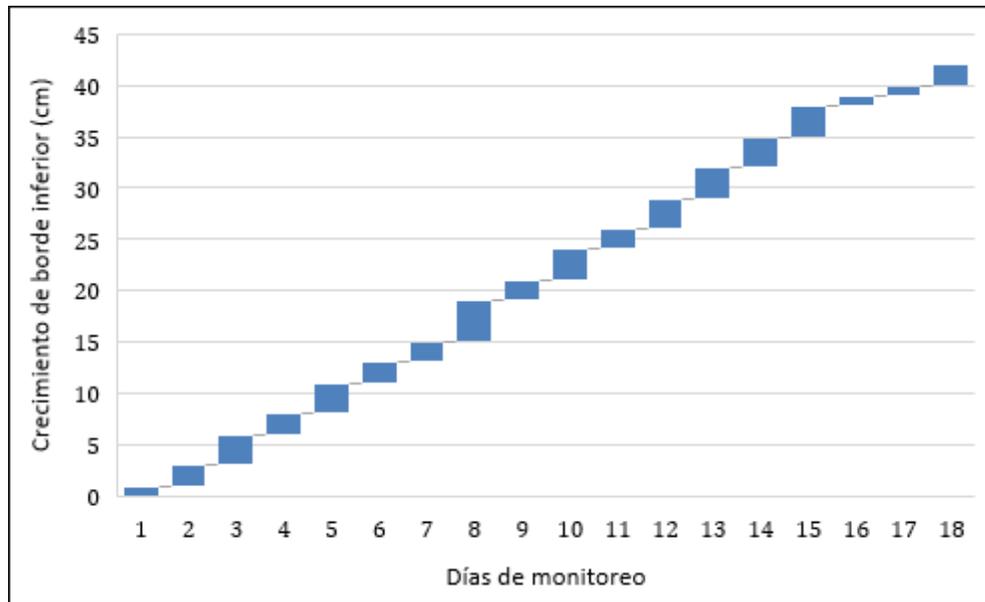


Figura 20. Crecimiento de borde inferior

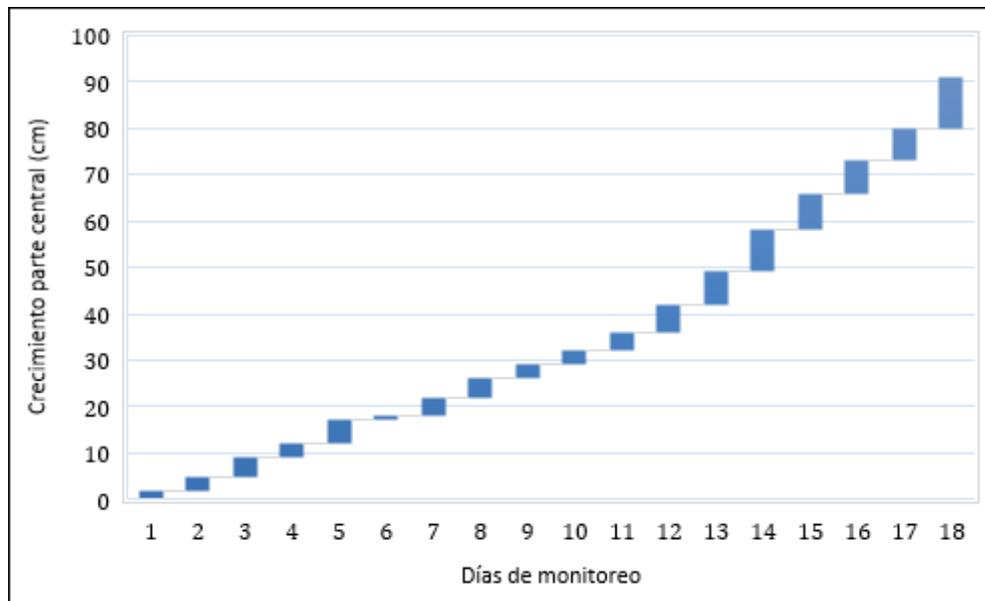


Figura 21. Crecimiento parte central

4.1.4. ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GLACIAR ARTIFICIAL PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC - MACUSANI, 2019.

La construcción de los prototipos tenía sus propios desafíos, pero el montaje general de la estructura tomó alrededor de seis horas con la participación de dos voluntarios. Así, la zona de instalación se situó a más de 2 km del pie del nevado Allin Ccapac con una geografía sumamente accidentada, que muestra una disminución aproximada de 17% de área cubierta por glaciar por década y una tasa promedio de 0.89 km²/año, por lo que los glaciares artificiales son una alternativa para la formación de masas de hielo.

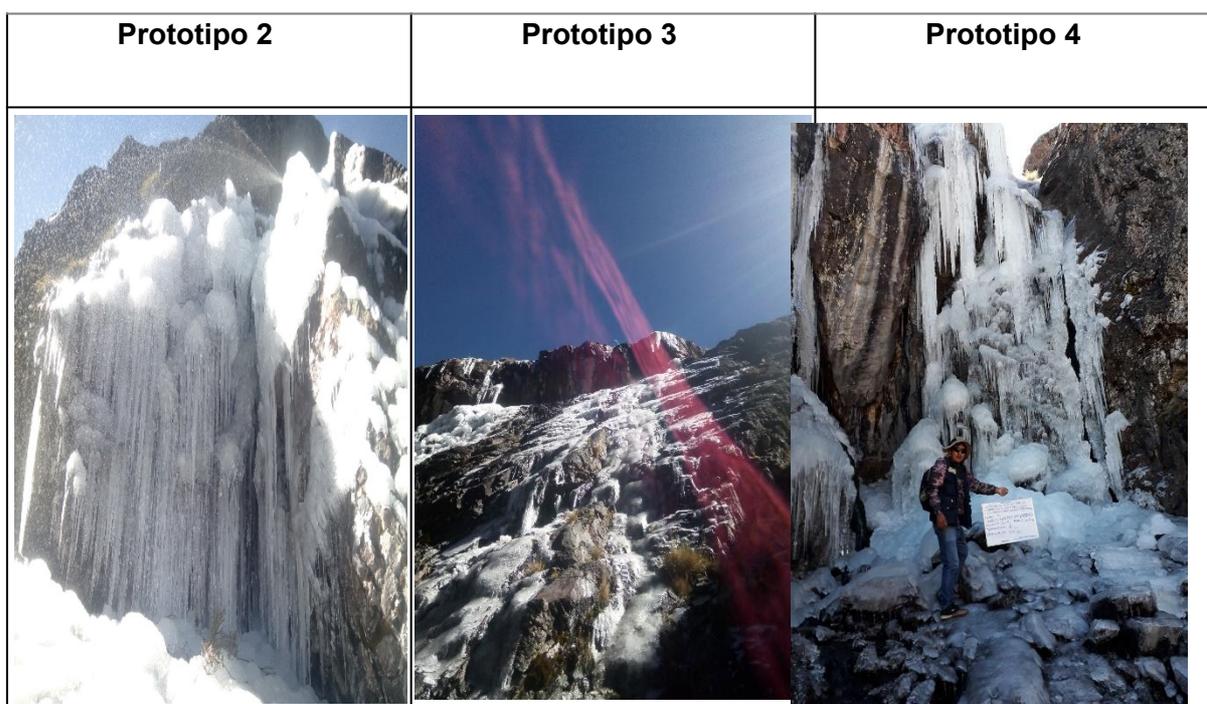


Figura 22. Prototipo de glaciar

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, aunque los prototipos demostraron transformar el agua líquida de los riachuelos en hielo, se pudo observar que el crecimiento glaciar es limitado, es decir, se presenta en pequeñas cantidades, por lo tanto, los glaciares artificiales no pueden sustituir o salvar a los glaciares en el futuro, pues el clima continúa calentándose y el derretimiento de la superficie continúa aumentando, sin embargo, puede ofrecer una

forma de ganar tiempo mientras se reducen las emisiones de carbono y se aprovecha la captación de agua previendo la escasez de este recurso vital.

4.2. DISCUSIONES DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos en la aplicación del diseño de un sistema para la elaboración de un prototipo de glaciares artificiales con tuberías de policloruro de vinilo (PVC), refuerza los hallazgos de Maheshwary et al., (2019) que es necesario identificar un área que sea adecuada, para aplicar esta tecnología in situ, es decir dentro del área de estudio. Referente al primer prototipo, se demuestran que para los prototipos de glaciares artificiales verticales es necesario materiales avanzados como tuberías de distribución, malla de alambre, y componentes de sistemas antiguos, como paredes de mampostería y puertas de regulación (Clouse et al., 2017) realizando cortes y ensamblando las partes como el cabezal que es un tapón de caucho con múltiples agujeros en el extremo del tubo, asimismo en el otro extremo con la ayuda de una unión L de PVC, ya con el diseño del prototipo 2 se confirman los resultados de Nüsser et al., (2019) situando el prototipo en un peñasco, en una zona alta de arroyo, que el diseño se adapta al entorno físico y que permite una mayor distancia de esparcimiento en comparación con el diseño anterior.

Referente al volumen del agua en estado sólido del sistema constructivo del prototipo de glaciar artificial con tuberías de policloruro de vinilo (PVC) los hallado no concuerdan con (Oerlemans, 2005) ya que este demostró que el glaciar puede alcanzar un volumen de 200 a 400 m^3 , en cambio nuestros resultados indican que el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado son en los prototipos de glaciares artificiales 1 y 2, resulta en 2.26 l/s y 1.99 l/s para R1 y R2 respectivamente.

Referente a las variaciones climáticas de la temperatura en relación a la altitud para la formación de glaciares artificiales en el Nevado Allin Ccapac, los hallazgos concuerdan

con Wangchuk (2016), que a menor temperatura hay mayor presencia de engrosamiento, en este caso de 8.81 °C de temperatura promedio con una engrosamiento mayor, promedio diario de 2.33 cm y 5.06 cm en el borde inferior y la parte central respectivamente, demostrando que mientras se proteja del sol y fuese factible, especialmente a menor altura, el hielo se derriten mucho más despacio que las extensiones de hielo planas expuestas al sol.

Finalmente, los resultados de la propuesta tecnológica para la formación de glaciares artificiales en el nevado Allin Ccapac -Macusani concuerdan con (Nüsser et al., 2019) ya que los glaciares artificiales si se adaptan notablemente al entorno físico, sin embargo, su crecimiento es limitado, se presenta en pequeñas cantidades, por ende es un tema muy cuestionable y en este caso los glaciares artificiales no pueden sustituir o salvar a los glaciares en el futuro, debido a la variabilidad climática y el derretimiento de la superficie que continúa aumentando (Maheshwary et al., 2019). Pero si, puede ofrecer el aprovechamiento de la captación de agua previendo la escasez de este recurso vital (Nüsser et al., (2019), ayudar a las comunidades en sus luchas contra las inundaciones y la sequía (Shaw, 2018).

CONCLUSIONES

PRIMERA. Según los resultados la propuesta de diseño y elaboración de un prototipo para la formación de glaciares artificiales es adaptativo a la zona de aplicación con la finalidad de aprovechar las formaciones geológicas consiguiendo una estructura con menos requerimiento de materiales y ambientalmente sostenible debido a la reutilización de recipientes plásticos.

SEGUNDA. Se diseñó un sistema funcional con tuberías de policloruro de vinilo (PVC) y partes de material reciclado capaz de atomizar el agua y convertirlo en estado sólido por efectos de la temperatura, según las mediciones el caudal de las fuentes de alimentación es 2.26 l/s para el primer riachuelo que suministra agua a los prototipos 1 y 2, mientras que en el segundo riachuelo se presentó un caudal de 1.99 l/s que suministra agua a los prototipos 3 y 4. los cuales tienen capacidad de alimentar a más prototipos.

TERCERA. Según los resultados el área de formación de hielo en el sistema constructivo del prototipo de glaciar artificial es irregular por lo que se midió a través de imágenes satelitales delimitando un espacio de 37.6 m², 201.0 m² y 81.3 m² para los prototipos 2,3 y 4 respectivamente.

CUARTA. En cuanto a las variaciones climáticas de la temperatura en relación con la evolución de la formación de glaciares artificiales presentan una línea de regresión lineal simple de $R^2= 0.0266$ lo cual indica que no existe correlación directa entre ambos aspectos, además se obtuvo un promedio diario de

temperatura a $-8.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ y crecimiento de hielo de 2.33 cm y 5.06 cm en el borde inferior y la parte central respectivamente.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña INAIGEM, se recomienda realizar un plan piloto para la aplicación y el reforzamiento de los sistemas de los prototipos de glaciares artificiales y/o diseñar diferentes formas estructurales no cónicas para ser aplicado en diversos nevados con escenarios topográficos particulares.

SEGUNDA. A la Autoridad Nacional del Agua ANA se recomienda plantear y evaluar instrumentos ambientales para viabilizar un proyecto de captación del agua en los prototipos para la formación de glaciares artificiales.

TERCERA. Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI se recomienda llevar a cabo una investigación sobre proyección de temperatura para estipular la vida útil de los sistemas de los prototipos de glaciares artificiales en un nevado.

CUARTA. Así mismo se recomienda a las autoridades locales orientar en la elaboración y mantenimiento de la estructura de los prototipos de glaciares artificiales para que las comunidades puedan implementar esta tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

- Aliaga, J. A., & Cosme, L. A. (2018). Retroceso glaciar del Nevado Huaytapallana como consecuencia del calentamiento global. *Naturaleza y Sociedad*, 1(1), Article 1. <https://journals.continental.edu.pe/index.php/natsoc/article/view/429>
- Autoridad Nacional del Agua. (2021). Reserva hídrica en los glaciares del Perú. *Repositorio Institucional - ANA*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4802>
- Barahona-Avecilla, F. R., Barrera-Cárdenas, O. B., Padilla-Padilla, C. A., & Buenaño-Moyano, L. F. (2021). Superficies óptimas de diferentes formas geométricas para desmaterializar la producción. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 1286-1302. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2056>
- Bunge, M. A. (2017). El planteamiento científico. *Revista Cubana de Salud Pública*, 43(3), 1-29.
- Cagua, T. A. C. (2017). El cambio climático y sus implicaciones en la salud humana. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 159-170.
- Campos, N., & Campos, N. (2020). Revisión de procedimientos metodológicos para la reconstrucción glaciar y el cálculo de la altitud de la línea de equilibrio. *Revista de geografía Norte Grande*, 76, 321-350. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000200321>
- Clouse, C. (2016). Frozen landscapes: Climate-adaptive design interventions in Ladakh and Zaskar. *Landscape Research*, 41(8), 821-837. <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1172559>
- Clouse, C. (2017). The Himalayan Ice Stupa: Ladakh's Climate-adaptive Water Cache. *Journal of Architectural Education*, 71(2), 247-251. <https://doi.org/10.1080/10464883.2017.1340781>
- Clouse, C., Anderson, N., & Shippling, T. (2017). Ladakh's artificial glaciers: Climate-adaptive design for water scarcity. *Climate and Development*, 9(5), 428-438. <https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1167664>

- Cuellar Quiñones, J. C., Ortiz, J. H., & Arciniegas H., J. L. (2018). *Modelo para la medición de QoE en IPTV*. Universidad Icesi. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/84047
- Díaz Aguilar, R. D., Sanchez Larico, S. V., Lujano Laura, E., & Lujano Laura, A. (2017). Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(3), 265-274. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.291>
- Duque Escobar, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>
- Foster, John B, Holleman, Hanna y Clark, Brett. (2019). *Imperialismo en el Antropoceno*. <https://www.jussemp.org/Inicio/Recursos/Info.%20econ/imperialismoenelantropocen.html>
- Gagné, K. (2016). Cultivating Ice over Time: On the Idea of Timeless Knowledge and Places in the Himalayas. *Anthropologica*, 58(2), 193-210.
- Greenpeace. (2018). *Así nos afecta el cambio climático—ES*. Greenpeace España. <https://es.greenpeace.org/es/en-profundidad/asi-nos-afecta-el-cambio-climatico/>
- Han, L., Floricioiu, D., Baessler, M., & Eineder, M. (2016). An algorithm for the detection of calving glaciers frontal position from TerraSAR-X imagery. *2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 6171-6174. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730612>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación—Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. En *Mac graw hill education*.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *GLACIARES*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares>
- Kallenberg, B. (2016). *Comparison of observations and modelling of surface mass balance variations in East Antarctica*. <https://doi.org/10.25911/5d74e82ad262a>

- Kanniah, B. (2019). *Deep learning to characterize ice stream flow* [Thesis, Massachusetts Institute of Technology]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/122231>
- Maheshwary, S., Raspall, F., & Verma, S. (2019). *Optimized structure for Ice Stupa -architecture that supports nature to resist climate change.*
- Marangunic, C. (2016). Glaciares y los ecosistemas de montaña: Las importantes tareas pendientes. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1, 9-9.
- Moore, J. C., Gladstone, R., Zwinger, T., & Wolovick, M. (2018). Geoengineer polar glaciers to slow sea-level rise. *Nature*, 555(7696), 303-305. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-03036-4>
- Nüsser, M., & Baghel, R. (2016). Local Knowledge and Global Concerns: Artificial Glaciers as a Focus of Environmental Knowledge and Development Interventions. En P. Meusburger, T. Freytag, & L. Suarsana (Eds.), *Ethnic and Cultural Dimensions of Knowledge* (pp. 191-209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21900-4_9
- Nüsser, M., Dame, J., Kraus, B., Baghel, R., & Schmidt, S. (2019). Socio-hydrology of “artificial glaciers” in Ladakh, India: Assessing adaptive strategies in a changing cryosphere. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1327-1337. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1372-0>
- Oerlemans, Johannes; Balasubramanian, Suryanarayanan; Clavuot, Conradin; Keller, Felix. (2021). Brief communication: Growth and decay of an ice stupa in alpine conditions – a simple model driven by energy-flux observations over a glacier surface. *The Cryosphere*; *Katlenburg-Lindau*, 15(6), 3007-3012. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-15-3007-2021>
- Pandis, N. (2016). Multiple linear regression analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 149(4), 581. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.01.012>

- Quintero Londoño, J. S. (2020). *Cálculo de retroceso para los glaciares Colombianos por medio de imágenes satelitales Sentinel 2 y MDT para el 2016—2017*.
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4142>
- Rasul, G., Pasakhala, B., Mishra, A., & Pant, S. (2020). Adaptation to mountain cryosphere change: Issues and challenges. *Climate and Development*, 12(4), 297-309.
<https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1617099>
- Rodríguez, L., Franco, I., Canet, C., Rajabi, A., & Useche, F. (2021). APUNTE Geológico Y Revisión Histórica De La Zona Geotérmica De Pathé, Hidalgo. *Geofísica Internacional*, 60, 258-279. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2021.60.3.2130>
- Sampedro, O. F. B., Reyes, J. I. C., Pérez, D. F. M., Chávez, J. E. O., & Núñez, E. F. V. (2018). Proyecto de diseño de un condensador con fuente eólica para obtención de agua. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 385-397.
- Schauwecker, Simone ; Kronenberg, Marlene; Cruz, Rolando. (2017). *El futuro del clima y de los glaciares en el Perú: Proyecto Glaciares*.
<https://www.proyectoglaciares.pe/materiales/el-futuro-del-clima-y-de-los-glaciares-en-el-peru/>
- Shaw, B. (2018). *Fragile Equilibrium: Environmental change and Cultural Resilience in the Himalayas* [Text, Carleton University].
<https://curve.carleton.ca/fa98423f-bdef-4eb7-a006-e4ec45e1ffca>
- Siu Koochoy, R., & Andaluz Zúñiga, C. (2019). Geometría del espacio: Ejercicios y problemas. En *Repositorio de la Universidad del Pacífico—UP*. Universidad del Pacífico.
<http://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/2464>
- Slater, T., Lawrence, I. R., Otosaka, I. N., Shepherd, A., Gourmelen, N., Jakob, L., Tepez, P., Gilbert, L., & Nienow, P. (2021). Review article: Earth's ice imbalance. *The Cryosphere*, 15(1), 233-246. <https://doi.org/10.5194/tc-15-233-2021>
- Trochim, W. M. K. (2021). *Qualitative Methods*. <https://conjointly.com/kb/qualitative-methods/>

Verbist, K., Schoolmeester, T., Hesping, M., Baker, E., Alfthan, B., & Johansen, K. (2018).

Atlas de Glaciares y Aguas Andinos.

Wangchuk, Sonam. (2016). *Torres de hielo en el desierto—Premios Rolex a la Iniciativa.*

rolex.org. <https://www.rolex.org/es/rolex-awards/environment/sonam-wangchuk>

ANEXOS

ANEXO 01 : Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente sistema prototipo de tuberías de policloruro de vinilo (PVC)	Sistema prototipo: Un prototipo es una simulación del producto final. Es como una maqueta interactiva cuyo objetivo principal es probar si el flujo de interacción es el correcto o si hace falta corregirlo.	<ul style="list-style-type: none"> • Agua disponible. • Caudal • Temperatur a ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen (m³) • Caudal (l/s) • Temperatura (°C)
		<ul style="list-style-type: none"> • diseño del sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de tuberías de policloruro de vinilo (PVC)
Dependiente Glaciar Artificial	Glaciar artificial: son estructuras de hielo creadas por el hombre con el fin de almacenar al agua de deshielo pro un tiempo más prolongado. (Clouse, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen del glaciar artificial. 	<ul style="list-style-type: none"> • volumen de concentración g(m³)

ANEXO 02: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	
				DISEÑO ESTADÍSTICO	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>PROBLEMA GENERAL.</p> <p>¿Cómo es la elaboración de un prototipo de glaciar artificial para la conservación del nevado Allin Ccapac -Macusani, 2019?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Describir la elaboración de un prototipo de glaciar artificial para la conservación del nevado Allin Ccapac -Macusani.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La elaboración de un prototipo de glaciar artificial es eficiente para la conservación del nevado Allin Ccapac -Macusani, 2019.</p>	<p>Requerimientos ambientales y diseño del sistema</p> <p>Volumen de agua en estado solido</p>	<p>Experimental I descriptivo</p>	<p>Agua de deshielo del nevado Allin Ccapac</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál será el sistema para la elaboración de un prototipo de glaciar artificial con tuberías de policloruro de vinilo (PVC)? 	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseñar un sistema para la elaboración de un prototipo de glaciar artificial con tuberías de policloruro de vinilo (PVC). 	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</p> <ul style="list-style-type: none"> El diseño del sistema para la elaboración de un prototipo de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) permite la formación de glaciares artificiales. 	<p>Requerimientos ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> Temperatura Volumen Caudal <p>Diseño del sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> Prototipo de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) 	<p>Estadística descriptiva Medias y promedios</p> <p>Sin diseño</p>	<p>Agua de deshielo del nevado Allin Ccapac</p> <p>Prototipo de tuberías de policloruro de vinilo (PVC) 2 unidades</p>
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál será el volumen del agua en estado sólido tolerado por el sistema constructivo del prototipo de glaciar artificial con tuberías de policloruro de vinilo (PVC)? 	<ul style="list-style-type: none"> Calcular el volumen del agua en estado sólido del sistema constructivo del prototipo de glaciar artificial con tuberías de policloruro de vinilo (PVC). 	<ul style="list-style-type: none"> Los volúmenes en estado sólido del agua serán de elevadas cantidades toleradas por el sistema prototipo de policloruro de vinilo (PVC). 	<p>Volumen de agua en estado solido</p>	<p>Cálculo de volumen Estadística descriptiva Medias y promedios</p>	<p>Volumen confinado de agua en estado solido Dos por mes con repetición</p>

ANEXO 03: RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DONDE SE REALIZARÁN LOS ENSAYOS.

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	14/06/2019	HORA :	10:30 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DONDE SE REALIZARÁN LOS ENSAYOS.		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Primero: al llegar a la zona descrita en el proyecto que antecede este informe se corrobora que el acceso es difícil. Aproximadamente a dos horas y media desde el punto de partida o base de operaciones que es en la ciudad de Macusani, se observa también que el acceso vehicular a la zona de investigación es imposible por lo que el recorrido en auto dura aproximadamente una hora con veinte minutos y el recorrido a pie hasta el punto de investigación dura aproximadamente una hora.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Se ve por conveniente identificar la zona por el acceso y la topografía de la zona se georreferencia la zona con la ayuda de un GPS marca Garmin modelo montana 600 donde se da lectura a las siguientes coordenadas.

LATITUD 13°55'45.16" S
 LONGITUD 70°25'44.24" O
 ALTURAV4758 MSNM

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 04: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	14/06/2019	HORA :	12:00 PM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Las características del área de estudio son:

- Se observa presencia de una cantidad importante de riachuelos producto del deshielo de los glaciares del nevado Allin Ccapac
- La temperatura oscila entre 20° a 28° centígrados al medio día
- Basto en vegetación característica a la región janca, apreciándose líquenes, musgos e ichu.
- Asimismo, se aprecia especies de fauna como vizcachas y alpacas.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

La zona escogida para la instalación del prototipo se encuentra a más de 2 km del pie del nevado con una geografía sumamente accidentada.

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 05: TRASLADO DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LA INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	18/06/2019	HORA :	8:30 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	TRASLADO DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LA INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Primero: con la ayuda de una camioneta de carga se procedió al traslado de los materiales y herramientas hacia la zona donde se instalará el prototipo, así mismo como se mencionó anteriormente el trayecto donde no tiene acceso la unidad móvil fue necesario cargar los materiales y herramientas con el apoyo de dos personas.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Materiales y herramientas trasladados:

- Manguera reforzada 1" 100 mt
- Tubo pvc 1" 5m 4 unidades
- Botellas de plástico grande
- Alambre
- Pegamento
- Cinta
- Alicata
- Cierra
- Teflón

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 06: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 01

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	19/06/2019	HORA :	6:00 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 01		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Siendo las seis de la mañana se procede a la preparación, armado e instalación del prototipo n° 01.

Para el armado fue necesario medir el terreno e identificar un área que sea acorde a las especificaciones del prototipo, seguidamente con los datos se prepara el material realizando cortes y ensamblando las partes como el cabezal que es un tapón de caucho con múltiples agujeros que es instalado en un extremos del tubo de PVC, así mismo en el otro extremo con la ayuda de una unión L de PVC ensamblamos con la tubería de 25 metros finalmente se instala la toma de agua que básicamente es una botella de 2 litros cortada en la base formando una especie de embudo.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

UBICACIÓN DEL PROTOTIPO 01
 LATITUD 13°51'45.16" S
 LONGITUD 70°25'44.24" O
 ALTURA 4758 MSNM
 TEMPERATURA 12° C

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 07: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO N° 01

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	19/06/2019	HORA :	10:00 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO N° 01		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Siendo las 10 de la mañana se procede con la instalación del prototipo 01 tomando en cuenta la metodología del proyecto de tesis por lo que se prepara el terreno del punto de instalación primero se toma en cuenta un riachuelo cercano lo que servirá de alimentador para las tuberías o toma de agua y 25 metros abajo y con una diferencia de altura considerable de aproximadamente 12 metros se procede a la instalación del tubo de PVC con la ayuda de cables y material de la zona, para poder asegurar la tubería de forma vertical se usó 4 vientos asegurados en rocas y estacas de metal así mismo la base se aseguró con piedras de la zona y musgo.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Una vez instalado el prototipo 01 se conecta la toma de agua y se aprecia que el chorro de agua que emana el cabezal alcanza una altura considerable como se aprecia en la evidencia fotográfica alcanzando una altura aproximada de 2.5 metros sobre el cabezal del aspersor formando partículas muy pequeñas a simple vista.

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 08: VISITA DE INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 01
INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	20/06/2019	HORA :	6:00 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	VISITA DE INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 01		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Siendo las 6 de la mañana nos aproximamos al lugar donde un día antes se instaló el prototipo n°01 observando que la estructura principal que es la tubo de pvc se encontraba en el piso así mismo se observa que alrededor del tubo una cantidad de hielo considerable por lo que se cree la teoría de formación de glaciar artificial es posible. Inmediatamente después de registrar la temperatura y tomar evidencia fotográfica se procede a limpiar y reinstalar la estructura del prototipo asegurando con cables extra y asegurar la base con más material de la zona. También se observa que el riachuelo arrastra restos de material orgánico de la zona y tierra por la erosión lo que hace que las tuberías se atoren en especial el cabezal o aspersor por lo que empleando una malla de rafia se instala en la boca toma para filtrar los elementos mencionados.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Partes de la estructura están formados por material reciclado como la toma de agua que es una botella cortada por la base y el filtro que es una malla de rafia adaptada y asegurada en la base de la botella que actúa como filtro
 Temperatura: 04 ° C.

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 09: SEGUNDA INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 01

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	21/06/2021	HORA :	6:00 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	SEGUNDA INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 01		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Siendo las seis de la mañana y al llegar al punto donde fue reinstalado la estructura nos damos con la sorpresa que el tubo principal había colapsado por segunda vez siendo así que esta vez se realiza un análisis e inspección detallada de la posible razón por la cual había colapsado la estructura por segunda vez donde se evidencia:

- La formación de hielo alrededor de la estructura de aproximadamente 3 centímetros de espesor.
- Lo que se nota es que el hielo también se había formado en los cables e incluso en la estructura principal con un espesor considerable lo que provoca la caída de esta por acumulación de hielo en los puntos de apoyo dándonos a entender que la estructura no era lo suficientemente fuerte para soportar este tipo de formaciones.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

TEMPERATURA: 05° C

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 10: INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 02

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	21/06/2019	HORA :	12:00 PM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO 02		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Habiendo visto la deficiencia del prototipo n°01 se decide aprovechar la topografía del terreno e instalar una segunda estructura la que estará suspendida a más de 7 metros aprovechando un pequeño peñasco que se encuentra cerca de tal modo que el aspersor se encuentre a una altura considerable del suelo y no tenga ninguna estructura del prototipo que soporte el peso del hielo y pueda causar la caída de esta. Al conectar la toma de agua se aprecia que el aspersor logra abarcar aún más espacio que el prototipo N° 01

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

La referencia geográfica satelital del prototipo 02 es:

Latitud 13°55'43.69" s

Longitud 7070°25'43.69" o

Altura 4737 msnm

Temperatura 22° c

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 11: INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 02

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	22/06/2019	HORA :	6:00 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	INSPECCIÓN DEL PROTOTIPO 02		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Siendo las 6 de la mañana al llegar al punto de instalación se aprecia un manto de hielo formado debajo del aspensor ocupando un área considerable cubriendo por completo las rocas y parte de la pared formando formas de hielo conocidas como velas así mismo se registrando 4 cm en los puntos más altos y 1 cm en las áreas más alejadas, seguidamente se realiza la limpieza de la toma de agua y se registra evidencia fotográfica.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Se registra le temperatura: 02° C

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 12: INSTALACIÓN DE PROTOTIPOS 03 Y 04

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	22/06/2019	HORA :	12:00 PM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	INSTALACIÓN DE PROTOTIPOS 03 Y 04		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

Terminado el registro y verificación de las tuberías del prototipo 02 se procede al armado e instalación de los prototipos 03 y 04 tomando en cuenta los resultados obtenidos del prototipo 02, se aprovecha la topografía e instala las siguientes estructuras en dos puntos estratégicos separados por 40 metros entre si verificando la correcta instalación y conectar a las toma de agua similar al prototipo número 02.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Referencia geográfica del prototipo 03
 Latitud 13°55'43.69" s
 Longitud 70°25'40.67" o
 Altura 4737 msnm
 Referencia geográfica del prototipo 04
 Latitud 13°55'43.01" s
 Longitud 70°25'41.77" o
 Altura 4751 msnm

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 13: MONITOREO DE PROTOTIPOS 02,03 Y 04

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019		
FECHA :	23/06/2019	HORA :	6:00 AM
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA		
ACTIVIDAD :	MONITOREO DE PROTOTIPOS 02,03 Y 04		

1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO

- Siendo las 6 de la mañana se procede a la inspección y monitoreo del prototipo 02 apreciando un evidente engrosamiento de hielo llegando a registrarse en el punto más alto 7 cm habiendo cubierto gran casi la totalidad del área donde llega el aspensor así también las estructuras de hielo formadas en la pared de roca se aprecian en engrosamiento también se percibe una disminución de temperatura cerca al lugar.
- De la misma manera se verifica los prototipos 03 y 04 las cuales muestran presencia de formaciones de hielo en la zona donde llega el agua atomizada por el aspensor alcanzando un espesor de 4 cm en las partes más altas
- Se realiza la limpieza del cabezal y la toma de agua de las tres estructuras.

2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES

Temperatura: 1°C

3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



ANEXO 14: MEDICIÓN DE CAUDAL.

INFORME DE VISITA DE CAMPO

NOMBRE DEL PROYECTO:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA FORMACIÓN DE GLACIARES ARTIFICIALES EN EL NEVADO ALLIN CCAPAC – MACUSANI, 2019				
FECHA :	26/06/2019	HORA :	02:00 PM		
CIUDAD :	MACUSANI – CARABAYA				
ACTIVIDAD :	Medición de caudal				
1. RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS DURANTE LA SALIDA A CAMPO					
<p>Sobre la medición del caudal: observando las características de la fuente que alimenta los prototipos tenemos dos riachuelos pequeños de las cuales nombraremos riachuelo n° 01 el que alimenta a los prototipos 01 y 02 y el riachuelo n° 02 el que alimenta al prototipo 03 y 04.</p> <p>El método usado para la medición del caudal es el método volumétrico.</p> <p>Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reloj con cronometro. - Recipiente de agua de 20 litros. - Lamina para encausar el riachuelo <p>Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Primero se preparó el terreno donde fluye el riachuelo para poder encausarlo utilizando la lámina de metal, se coloca el recipiente de agua en la boca de la lámina midiendo el tiempo con la ayuda del cronometro, se repite el procedimiento durante 3 veces en ambos riachuelos 					
2. OBSERVACIONES/RECOMENDACIONES					
<p>Datos:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - Riachuelo 01: T 01 = 8.55 s T 02 = 8.84 s T 03 = 9.12 s </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> - Riachuelo 02: T 01 = 10.57 s T 02 = 9.84 s T 03 = 9.69 s </td> </tr> </table>				<ul style="list-style-type: none"> - Riachuelo 01: T 01 = 8.55 s T 02 = 8.84 s T 03 = 9.12 s 	<ul style="list-style-type: none"> - Riachuelo 02: T 01 = 10.57 s T 02 = 9.84 s T 03 = 9.69 s
<ul style="list-style-type: none"> - Riachuelo 01: T 01 = 8.55 s T 02 = 8.84 s T 03 = 9.12 s 	<ul style="list-style-type: none"> - Riachuelo 02: T 01 = 10.57 s T 02 = 9.84 s T 03 = 9.69 s 				
3. EVIDENCIA FOTOGRÁFICA					
					

ANEXO 15 : PANEL FOTOGRÁFICO



FIGURA 23: Prototipo 01 en forma vertical con apoyo de vientos de alambre recubierto.



FIGURA 24: Prototipo 01 en forma vertical con apoyo de vientos de alambre recubierto.

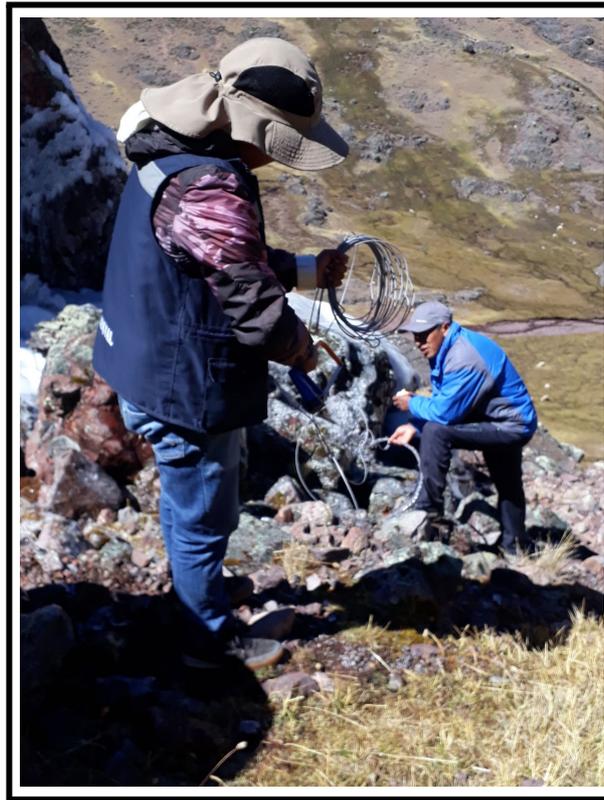


FIGURA 25: instalación de prototipos de glaciár



FIGURA 26: instalación de prototipos.



FIGURA 27: instalación de prototipo N° 02



FIGURA 28: resultados del prototipo N° 02



FIGURA 29: instalación de prototipo N° 03



FIGURA 30: resultados del prototipo N° 03



FIGURA 31: resultados del prototipo N° 04



FIGURA 32: resultados del prototipo N° 04



FIGURA 33: imagen panorámica antes de la instalación del prototipo N° 02



FIGURA 34: imagen panorámica después de la instalación del prototipo N° 02



FIGURA 35: aforo de riachuelos que alimentan a los prototipos.



FIGURA 36: instrumentos de medición del glaciar artificial.