



# **FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“VELOCIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE AGUAS DE GLACIAR UTILIZANDO  
MICRO-BURBUJAS DE AIRE PARA EL INCREMENTO DE LAS RESERVAS DE  
AGUA SOLIDA EN EL NEVADO PACHANQUTU-HUAROCHIRI”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**LLERENA VALLE JOEL**

**ASESOR:**

**Dr. JAVE NAKAYO, JORGE LEONARDO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Calidad y gestión de los recursos naturales**

**LIMA – PERÚ**

**(2018-II)**

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don  
(a) LHERENA VALLE, Joel

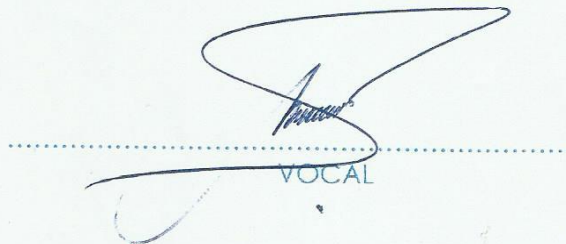
cuyo título es: Velocidad de cristalización de aguas de glaciares utilizando micro-burbujas de aire para el incremento de las reservas de agua sólida en el nevado Pachangutu - Huacochin


Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por el estudiante, otorgándole el calificativo de: 18 (número)  
DIECIOCHO (letras).

Los Olivos 11 de DIC del 2018

  
PRESIDENTE

  
SECRETARIO

  
VOCAL

\*Pachangutu 

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado al futuro  
incierto de una sociedad negligente con la  
naturaleza

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que creyeron posible este proyecto.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Joel Llerena Valle, identificado con DNI N° 48095680, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

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

Lima, 11 de diciembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Joel Llerena Valle', with a horizontal line drawn through it.

---

JOEL LLERENA VALLE

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “*VELOCIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE AGUAS DE GLACIAR UTILIZANDO MICRO-BURBUJAS DE AIRE PARA EL INCREMENTO DE LAS RESERVAS DE AGUA SOLIDA EN EL NEVADO PACHANQUTU - HUAROCHIRI*”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental.

Lima, 11 de diciembre del 2018

***LLERENA VALLE JOEL***

# ÍNDICE GENERAL

CARATULA.....	I
ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	V
PRESENTACIÓN.....	VI
ÍNDICE.....	VII
RESUMEN.....	XI
ADSTRACT.....	XII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Realidad Problemática .....	1
1.2 Trabajos previos.....	3
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	8
1.3.1 Burbujas:.....	8
1.3.2 Micro – nano burbujas .....	8
1.3.3 Propiedades de las micro-nano burbujas.....	8
1.3.3.1 Formación de las burbujas y microburbujas.....	9
1.3.4 Glaciares.....	12
1.3.5 Temperatura.....	12
1.3.5 Calor .....	13
1.3.6 Cambio de estado del agua .....	14
1.3.6.1 Velocidad y tiempo de congelación .....	16
1.3.6.2 Propiedades que afectan el congelamiento del agua.....	17
1.4 Formulación del problema .....	18
1.4.1 Problema General .....	18
1.4.2 Problemas Específicos.....	18
1.5 justificación del estudio.....	18
1.6 Hipótesis .....	19
1.6.1 Hipótesis general .....	19
1.6.2 Hipótesis específica.....	19
1.7 Objetivos. ....	20
1.7.1 Objetivo general: .....	20
1.7.2 Objetivo específico.....	20
II. MÉTODO.....	21

2.1	Diseño de investigación .....	21
2.2	Variables de operacionalización .....	21
2.2.1.	Variables .....	21
2.2.2.	Operacionalización de variables .....	22
2.3	Población y muestra .....	23
2.3.1	Población .....	23
2.3.2	Muestra .....	23
2.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	26
2.4.1	Resumen de Etapas: .....	26
2.4.1.1	Diseño del prototipo: .....	26
2.4.1.2	Toma de muestra del agua en el nevado.....	26
2.4.1.3	Aplicación de la tecnología.....	33
2.4.1.4	Análisis de las muestras de agua preliminar.....	40
2.4.1	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos .....	41
2.4.1.1	Técnicas .....	41
2.4.1.2	instrumentos .....	41
2.4.2	Validez y confiabilidad.....	42
2.4.2.1	Validez.....	42
2.4.2.2	Confiabilidad .....	42
2.5	Métodos de análisis de datos .....	43
2.6	Aspectos éticos .....	43
III.	RESULTADOS: .....	44
4.1	Resultados de los parámetros físico-químicos del agua de la laguna Yuracmayo.....	44
4.2	Resultados de la transferencia de calor y la disminución de temperatura del agua. ....	48
4.3	Análisis y cálculo del tiempo de congelación.....	49
4.4	Análisis y cálculo del tiempo de enfriamiento.....	51
4.5	Prueba de Normalidad.....	58
IV.	DISCUSIÓN: .....	63
V.	CONCLUSIONES:.....	65
VI.	RECOMENDACIONES.....	66
VII.	REFERENCIAS .....	67
VIII.	Anexo .....	73



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tensión superficial ley de Young-Laplace: $\Delta P$ en la interface aire/agua.....	11
Figura 2: Cambio de estados del agua respecto a la temperatura y el calor .....	15
Figura 3: Ubicación del lugar de experimentación.....	24
Figura 4: Ubicación por sub cuenca hidrografía del rio Blanco.....	25
Figura 5: Diseño del sistema .....	27
Figura 6: Sistema de aireación .....	27
Figura 7: Armado del sistema.....	28
Figura 8: Sistema de refrigeración.....	29
Figura 9: Condensador de nevera y motor .....	30
Figura 10: Difusor micrométrico.....	31
Figura 11: Tubería de alta presión con válvula de cierre .....	31
Figura 12: Manómetro .....	32
Figura 13: Unión del difusor, manómetro y válvula de cierre.....	32
Figura 14: Ensamble de la tubería de cobre .....	33
Figura 15: pH in situ.....	34
Figura 16: Temperatura in situ .....	34
Figura 17: Muestreo en envases esterilizados de 1L .....	35
Figura 18: Muestras aleatorias en baldes de 20 L .....	36
Figura 19: Ensamble del prototipo de experimentación.....	36
Figura 20: Toma de datos de los contenedores .....	37
Figura 21: Tubo difusores de 1/4.....	37
Figura 22: Diagrama de proceso.....	38
Figura 23: Micro difusor en funcionamiento.....	38
Figura 24: Toma de temperatura en la cámara de refrigeración.....	39
Figura 25: Toma de temperatura en la salida de aire refrigerado.....	39
Figura 26: Análisis con multiparámetro .....	40
Figura 27: Análisis con turbidímetro.....	40
Figura 28: Calculo y análisis fisicoquímico .....	41
Figura 29: Cuadro de coeficientes de transferencia de calor.....	49
Figura 30: Software Plank 1.0 V .....	53
Figura 31: Cuadro tiempo de enfriamiento con Plank 1.0 V.....	54
Figura 32: variación de la eficiencia de la maquina respecto al tiempo.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Diámetro de una burbuja versus Aumento de la velocidad de la burbuja en el agua (v s)...	9
Tabla 2: Operacionalización de Variables.....	22
Tabla 3: Ubicación del lugar de experimentación.....	23
Tabla 4: Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	26
Tabla 5: Ubicación de los puntos de muestreo del agua .....	33
Tabla 6: Medición de los parámetros de Turbiedad de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo. ....	44
Tabla 7: Medición de los parámetros pH de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo. ....	45
Tabla 8: Medición del parámetro Conductividad Eléctrica CE de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo .....	46
Tabla 9: Medición del oxígeno disuelto OD en las muestras de agua de la laguna Yuracmayo.....	46
Tabla 10: Medición de los sólidos suspendidos totales SST de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo .....	47
Tabla 11: de coeficiente de transferencia de calor .....	49
Tabla 12: Conductividad térmica de diferentes materiales .....	49
Tabla 13: Resumen de los resultados de variación de temperatura $\Delta T^\circ$ .....	54
Tabla 14: de resultado de eficiencia del sistema, temperatura respecto al tiempo.....	55
Tabla 15: Temperatura media de las mínimas diarias ( $^\circ\text{C}$ ) – Registro histórico estación Marcapomacocha .....	57
Tabla 16: Pruebas de normalidad .....	58
Tabla 17: Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene .....	59
Tabla 18: Prueba de hipótesis.....	60
Tabla 19: Prueba de Hoc de HSD de Tukey .....	62

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue experimentar con los principios de transferencia de calor de los cuerpos de agua procedentes del nevado Pachanqutu en la provincia de Huarochirí y llegar a congelarlos, utilizando las micro-burbujas, de este modo aplicarlos en los glaciares para amortiguar el proceso de desglaciación de las fuentes de agua sólida del nevado Pachanqutu, específicamente en la laguna de Yuracmayo. Para cumplir este fin se extrajo una muestra representativa de agua de este nevado, muestra que se llevó a los laboratorios de la UCV para verificar las propiedades físico-químicas del agua que se estudió, posterior a ello se sometieron a un proceso de micro-burbujeo, a una presión constante de 45 PSI, Caudal de 0.3 m<sup>3</sup>/h y una temperatura constante de 2.8°C, en tres tiempos distintos; 4 horas, 5 horas y 6 horas respectivamente. Procediéndose a analizar las variaciones de temperatura, comprobándose que efectivamente hubo descenso de temperatura en el cuerpo de agua, materia de estudio.

Se calculó el tiempo de congelación del agua valiéndonos de modelos matemáticos y físicos, como son la ecuación de la Ley de enfriamiento de cuerpos de Newton, y la ecuación de tiempo de congelamiento de Plank, obteniendo el tiempo de enfriamiento del agua y el tiempo de cambio de estado. El resultados se contrasto con el software de congelamiento de alimento Planks 1.0 V. también se observó que la eficiencia del sistema de congelación es lineal en relación al tiempo, esto quiere decir que a medida que el tiempo pasa la maquina es más eficiente al momento de extraer calor.

***Palabras claves:*** *micro-burbujas, desglaciación, Ley de enfriamiento de cuerpos de Newton.*

## ABSTRACT

The objective of the present investigation is to experiment with the heat transfer principles of the water bodies coming from the snowy Pachanqutu in the province of Huarochirí and to get to freeze them, using the micro-bubbles, in this way apply them in the glaciers to be able to cushion the process of deglaciation of the solid water sources of Pachanqutu snow, specifically in the Yuracmayo lagoon. To achieve this end, a representative sample of water was extracted from this snow, this sample was taken to the UCV laboratories in order to verify the physical-chemical properties of the water that we want to freeze, after which they underwent a micro-processing process. bubbling, at a constant pressure of 45 PSI, flow of 0.3 m<sup>3</sup> / h and a constant temperature of 2.8 ° C, in three different times; 4 hours, 5 hours and 6 hours. In which the temperature variations were analyzed and it was verified that if there is indeed a decrease in temperature in the body of water, subject of study.

The calculation of the freezing time of the water was made using mathematical and physical models, such as the Law of Cooling of Newton bodies, and the Plank freezing time equation, which gave us the result of the time of cooling of the water and the freezing time or change of state of the same, these results were contrasted with the food freezing software Planks 1.0 V. It was also observed that the efficiency of the freezing system is linear in relation to time, this means that as time passes the machine is more efficient when extracting heat.

**Keywords:** *microbubbles, deglaciation, body bubble law of Newton.*

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Realidad Problemática**

El calentamiento global que trae consigo la alteración climática, en estas últimas décadas ha ocasionado cambios significativos en diversas zonas de nuestro país y el mundo. Según la convención del clima COP 24 realizada el 03 de diciembre del 2018, con respaldo del IPCC, indica que la temperatura media del planeta ha aumentado en 1°C y de no mantener la temperatura mundial por debajo de los 1.5°C, traería consigo fenómenos climatológicos catastróficos, como el aumento del nivel del mar, la pérdida de grandes masas de glaciares, empobrecimiento de los recursos hídricos que afecta la producción agrícola entre otros efectos que amenaza la sociedad. En ese sentido el gobierno peruano promulgo la Ley Marco de Cambio Climático, Ley N° 30754, planteando como objetivo principal fijar medidas de adaptación y mitigación, con el fin de disminuir la vulnerabilidad del Perú frente al cambio climático, impulsando un desarrollo económico bajo en carbono.

Actualmente, los glaciares son una de nuestras fuentes de reserva de agua más importantes para el Perú, permiten regular los caudales de las cuencas en los periodos de avenidas y estiajes, aportan suministro de agua en la producción agrícola de nuestras sierras además son proveedores de agua en regiones donde hay lluvias escasas, como es la zona desértica del Perú, sin embargo estos son ecosistemas frágiles muy sensibles al cambio climático y estas alteraciones causan una pérdida considerable en los glaciares continentales empobreciendo nuestros servicios ecosistémicos.

El retroceso glaciar de los andes peruano está estrechamente vinculado al cambio climático, las temporadas secas son cada vez más largas alterando el balance de acumulación de glaciares percibiéndose un decrecimiento de los glaciares de montaña. El Perú cuenta con el 70% de la superficie total de glaciares tropicales según informa la Unidad de Glaciología y Recurso Hídrico del Perú, (2014), esto lo coloca en uno de los países que cuenta con mayor cobertura de agua sólida en Latinoamérica.

El nevado de Pachanqutu ubicado en la provincial de Huarochirí departamento de Lima, forma parte de la reserva paisajística Nor-Yauyos – Cochas, este nevado pertenece a la cadena montañosa de la cordillera de los Andes, que cuenta con glaciares que alimentan diferentes cuerpos de aguas y pequeñas lagunas formadas por el deshielo de glaciares, este nevado es el más próximo a Lima, perfecto para poder hacer estudios e implementar el presente proyecto de investigación.

En antecedentes de trabajos relacionados a evitar el retroceso glaciar, se implementó el uso de pintura blanca para la refracción de la luz al espacio y así mantener las temperaturas del suelo y evitar la desglaciación, este estudio carecía de bases científicas por lo que la iniciativa se descartó, ahora las entidades competentes encargadas de la gestión de glaciares y agua como es la ANA e INAIGEM, plantean estudios para la adaptación al cambio climático, así como proyectos que ayuden a su conservación, por lo que es prudente hacer el estudio para conservar los glaciares y aumentar las masas de agua sólida.

Debido a lo mencionado líneas arriba, nace la necesidad de investigar nuevas formas de evitar y amortiguar el retroceso glaciar, proponiendo un método de transferencia de temperatura mediante las micro-burbujas y aplicarlos en las aguas de deshielo, las micro-burbujas hoy en día cuenta con diversos usos en el ámbito científico, redireccionados a diferentes campos y aplicaciones. Motivo de interés de la presente investigación, en la que se evaluó el uso de las micro-burbujas, la transferencia térmica y las variación de la temperatura en los cuerpos de agua procedente de los glaciares. De este modo se logró disminuir la temperatura ambiente de la muestra de agua de 24°C hasta los 6.02°C una disminución de temperatura considerable para propiciar un cambio de fase del agua a un estado cristalino, este proceso de transferencia de temperatura se dio en un rango de tiempo de 4 a 8 horas, tiempo en el que se inyectó las micro burbujas en el agua.

## 1.2 Trabajos previos

FLORES (2018), en su tesis “Evaluación de la conductividad térmica y el tiempo de congelamiento, en bloques congelados de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), en función al tipo de producto y sistema de congelamiento”, estudia el congelamiento de la trucha con diferentes métodos de congelación, el cual concluye que se llega a cristalizar el 85% del agua presente en el cuerpo de la trucha a temperaturas circundantes a  $-26^{\circ}\text{C}$  cualquiera que sea el sistema que se aplica y cualquiera que sea la dimensión de la trucha. Mientras que en la velocidad de congelación, con una cristalización del agua libre al 70%, existe variación del tiempo según las dimensiones de la trucha. El filete en túnel es de 50 min para su cristalización al 70% del agua libre, para la trucha entera en túnel es de 110 min. y en congelamiento de placas el filete se congela en 140 min y la trucha entera en 180 min. Esta velocidad se debe gracias al coeficiente de transferencia de calor superficial, al tipo de equipo y su potencia de refrigeración y por último al espesor de la trucha a congelar. Por lo que podemos decir que a menor temperatura mayor será la cristalización del agua libre en el cuerpo de la trucha y que la zona máxima de cristalización se da entre los  $-1^{\circ}\text{C}$  y  $-5^{\circ}\text{C}$  cambiando el estado del agua acristal en 72% a 76%. Así como también confirma mediante sus análisis de varianza de la conductividad de la trucha, que hay una desigualdad entre las técnicas de congelación utilizadas y la dimensión del producto utilizado afectando el tiempo de congelación.

VALDES Y ROZAS (2014) mediante la tesis “Fabricación de hielo y análisis de ciclos de refrigeración por compresión de vapor”, nos da un análisis de distintos ciclos de refrigeración que se da por compresión de vapores, dicho análisis lo ejecutan mediante el software EES, con el fin de medir la eficiencia y compararlas, manteniendo la misma temperatura final del producto congelado, los cuales son de  $-15^{\circ}\text{C}$  con una temperatura de evaporación de  $-20^{\circ}\text{C}$  y condensación de  $40^{\circ}\text{C}$ . Concluyendo que se observa mayor eficiencia en el ciclo de enfriamiento intermedio, puesto que este posibilita un ahorro de potencia de compresión  $\text{COP} = 3,692$ .

ZEGARRA (2010), en su tesis titulada “Diseño de un Productor de Hielo Fluido de 14 kg/h” elabora un diseño de producción de hielo, para la aplicación en embarcaciones pesqueras, este sistema está compuesto por una unión de subsistemas que permite el enfriamiento de los productos de la pesca. Este proyecto modifica un motor estacionario el cual accionará el compresor, también utilizó propano (R-290) como refrigerante, este sistema de refrigeración logró producir partículas de hielo que ayudaron a conservar las capturas, en un menor tiempo, el cálculo de transferencia de calor se realizó en Mathcad.

HUERTA (2016), con la tesis “Diseño de un Sistema de Fabricación de Hielo Bajo Demanda”, investigó formas de producir hielo a escala doméstica, y generación de hielo en menor tiempo con mínima energía, por lo que propusieron tres métodos, como la disminución de la temperatura del evaporador e incrementar el flujo de aire del compresor, de igual manera propusieron un método en el que incluían un molde – evaporador utilizando un sistema en cascada que produzca temperaturas entre  $-40$  y  $-70$  °C el cual concluyeron que se puede producir 12 hielos de 15g en un tiempo promedio de 27 minutos a un flujo de aire de 80 m/s, proponiendo un avance considerable en cuanto a la eficiencia de producción de hielo, todo esto fue posible mediante el uso de las ecuaciones de Cleland y Earle, con el que se calculó el tiempo de cristalización del agua.

En la tesis de HURTADO (2014), titulada “Optimización del Proceso de Congelación de Tilapia (*Oreochromis aureus*) en Bloques e IQF para lograr una Máxima Calidad” en la cual estudia métodos de congelación de la tilapia en proceso de bloques y congelación rápida individual, con la finalidad de obtener una buena calidad, en esta tesis se estudió los espesores de los bloques e IQF (congelación rápida individual), los coeficientes de transferencia de calor, las temperaturas óptimas de congelación y la influencia de la velocidad de aire de secado, así poder verificar cuál es la influencia de estos factores en la congelación de la tilapia, llegando a concluir que el coeficiente de transferencia de calor superficial se ubica entre los  $21.794$   $\text{w/m}^2\text{K}$  y  $25.772$   $\text{w/m}^2\text{K}$  y es más efectivo cuando el congelador está a bajas temperaturas, de igual manera cuan



mayor velocidad de aire tenga y a mayor espesor de los bloques e IQF tienen mayor significancia en la congelación de la tilapia, así como a menor volumen de muestra mayor será la congelación.

VALENZUELA (2014) en su tesis de grado con título “Análisis del Crecimiento de Anisotropía de Cristales de Hielo Mediante Simulación Computacional” se investigó los cambios de estado del agua utilizando un simulador de computadora, en el que examinaron la anisotropía en el crecimiento de los cristales de hielo “Ih” haciendo uso del modelo rígido de agua TIP4P/2005, esta observación se dio gracias a un programa simulador que se diseñó para este fin, estos análisis y métodos computacionales permitieron identificar que la velocidad de crecimiento es menor a temperaturas bajas y este aumenta al aproximarse al punto de fusión por lo que podemos decir que se presenta mayor cristalización cercanos al punto de fusión de 240 K y una velocidad de 2 Å/ns.

En el artículo realizado por RAMÍREZ y LEÓN (s.f) que lleva como título “Predicción de Tiempos de congelación y Descongelación de Alimentos”, nos dan a conocer los diferentes métodos, fórmulas y cálculos sencillos para poder prever los tiempos de congelación de los alimentos que cuentan con gran cantidad de agua inicial, así como estudiar cuál de los métodos es más factible en el uso, se estudió la congelación de una placa plana infinita, se usó el método de Hossain y Cleland/ Earle el cual llega a concluir que el método más sencillo es el método de predicción de tiempo de congelación para placa plana fina así mismo afirma que para tener resultados precisos debe aplicar la corrección de los factores  $V^*$  (volumen adimensional) y  $A^*$  (área de transferencia adimensional).

CCALLO (2009), en su tesis “Congelación y Refrigeración de Filetes de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) Envasado al Vacío” estudia cuál es el tiempo de congelación y almacenamiento de la trucha arco iris, en el que se determinaron de manera precisa el inicio de congelación que es de  $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y obtuvo un tiempo estimado de 0.5 horas a una temperatura de congelador de  $-18$

°C llegando a congelar los filetes en un total de 2.6 horas, llegando a congelar un total del 93.7% del agua libre en la trucha dejando un 6.29% sin congelar, dando un éxito favorable para su conservación.

FERNANDEZ (2017), en su tesis doctoral “Análisis de engelamiento y nevadas en la Península Ibérica” el cual plantea el uso de métodos numéricos y modelos de predicción como el Weather Research and Forecasting (WRF), para poder analizar y predecir los riesgos meteorológicos de episodios de engelamiento (congelación atmosférica) que es el congelamiento de las gotas de agua en la atmósfera a temperaturas por debajo de los 0°C, también se plantea identificar los factores que propician el engelamiento. Se analizaron las características microfísicas dadas en el seno de las masas nubosas con carga de hielo extrema y se concluye que uno de los ingredientes es la humedad en nubes bajas para propiciar lloviznas engelantes, así como las corrientes ascendentes.

Los autores SJOGREEN et al. (2008), a través de su artículo titulado “Experimental study of nanobubbles in salt solutions” experimentan con la producción de nanoburbujas en soluciones salinas NaCl con el fin de estudiar cuáles serían los diámetros y variaciones del tamaño de nanoburbujas, su concentración, el pH y temperatura, todo ello con diferentes tiempos. Las nanoburbujas fueron producidas por la inyección de oxígeno a temperatura constante, los cambios en las nanoburbujas se observaron mediante la técnica de dispersión de luz dinámica. Se concluyó que es posible generar nanoburbujas en soluciones NaCl que a una temperatura  $T = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  el diámetro de las nanoburbujas permanece constante, y de igual manera se demostró que las condiciones y composiciones químicas y físicas del fluido influyen en la producción y el diámetro de las nanoburbujas.

YAP (2015), con el título de tesis “Análisis Multitemporal de Glaciares y Lagunas Glaciares en la Cordillera Blanca e Identificación de Potenciales de Amenazas GLOFs” nos da a conocer el uso de los modelos NDSI y NDWI para modelar, analizar e identificar los cambios ocurridos en los glaciares y las

lagunas de las cordilleras en los años que van desde el 2004 hasta el 2014 , el cual obtuvieron datos del incremento de la superficie de las lagunas de la cordillera blanca en 5.36 km<sup>2</sup>, se verifico un descenso en la masa de los glaciares de 31 km<sup>2</sup> ademas de ello se pudo divisar el aumento de lagunas producto del deshielo de estos glaciares.

En la tesis de MATURANA (2015), que presenta el titulo de “Análisis del Retroceso Glaciar y su Influencia en la Disponibilidad de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Olivares, Provincia Cordillera, Chile” nos da a conocer las variaciones del caudal del río olivera y su influencia con la disminución de los glaciares, el cual se hizo un estudio de las variables que afectan el retroceso glaciar y así poder determinar el tiempo de evolución de estos, de igual manera se estudio el comportamiento de los glaciares y las condiciones geológicas, estos estudios permitieron generar un modelo de escurrimiento el cual proyectaron escenarios de 2040 hasta el año 2070, una vez proyectada llegaron a la conclusión que existiría una descenso del caudal de 13.4 m<sup>3</sup>/s que son el promedio de los últimos 25 años a un 5.5m<sup>3</sup>/s para el periodo 2040-2070 se confirmaría una disminución en el caudal de hasta el 40%, estas conclusiones salieron en base a un modelamiento que toma como escenario los sucesos del cambio climático.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1 Burbujas:**

“En termino simples las burbujas son espacios de gas en un cuerpo de agua, la cual se encuentran en suspensión, estas burbujas pueden contener diferentes tipos de gases” (ACNITI, 2017, párr.1).

Desde el punto de vista mecánico, las burbujas son un flujo gaseoso que se introduce en un líquido a un determinado gasto de inyección de aire, el cual se forma influenciado por diferentes factores, como son la viscosidad del líquido, la superficie de contacto, la velocidad de inyección de gas, la gravedad, la tensión superficial, capilaridad entre otros. (ORTIZ, 2009,p.13)

#### **1.3.2 Micro – nano burbujas**

Las micro-nano burbujas es la combinación de las burbujas finas que constan de un diámetro de 10  $\mu\text{m}$  – 100  $\mu\text{m}$ , y las burbujas ultra finas con menos de 0.2  $\mu\text{m}$  de diámetro. Estas tienen grandes aplicaciones en diferentes campos, tienen la propiedad de permanecer más tiempo en el agua que una burbuja normal además tienen mayor superficie de contacto que una burbuja convencional lo cual es muy beneficiosa a la hora de tratar el agua (NSI INC, s.f.,”Micro/Nano Bubble”).

#### **1.3.3 Propiedades de las micro-nano burbujas**

- El área superficial de un volumen de burbujas es inversamente proporcional al diámetro de la burbuja; esto quiere decir que un mL de burbujas de 100 nm de diámetro tiene 1000 veces más superficie que un ml de burbujas de 0,1 mm (ACNITI, 2017,pr.4)

- El factor presión es quien defina a una burbuja, ya que en las micro-nano burbujas su presión es más alta en comparación a una burbuja normal,

de tal modo que su tensión superficial es más alta. Justamente por esta propiedad de las micro-nano burbujas es que el gas contenido en ella se disuelve más rápido en el agua. La partícula de burbuja asciende lentamente a la superficie, lo cual hace que el transporte del gas de la burbuja al líquido abarque más y sea aún más eficiente (ACNITI, 2017,pr.8).

- “Cuando se libera aire comprimido en la parte inferior, migra hacia la superficie del agua. A medida que viaja por la columna de agua, la presión que rodea a las burbujas disminuye lentamente y las burbujas se expanden” (KEETON INDUSTRIES, s.f., prr.6)

En la siguiente figura podremos diferenciar la velocidad de ascenso de las burbujas según su diámetro, lo cual es muy importante para su aplicación y los fines que más convenga

Tabla 1: Diámetro de una burbuja versus Aumento de la velocidad de la burbuja en el agua (v s)

Diámetro de una burbuja	Aumento de velocidad de la burbuja en el agua
100 $\mu\text{m}$	5440 $\mu\text{m/s}$
10 $\mu\text{m}$	54.4 $\mu\text{m/s}$ = 19.6 cm/h
1 $\mu\text{m}$	0.54 $\mu\text{m/s}$ = 2.0 mm/h

Fuente: ACNITI, 2017

- Las micro-nano burbujas cuentan con una superficie cargada eléctricamente y por esta propiedad estas son capaces de generar radicales libres y a medida que ascienden a la superficie la presión sobre ellas disminuye colapsando las burbujas, que se traduce en una explosión eliminando agentes patógenos (ACNITI, 2017,pr.2).

- “Las burbujas en agua pura están cargadas negativamente. La gran superficie específica y la superficie cargada permiten que las minúsculas burbujas absorban eficazmente moléculas con carga opuesta y / o partículas pequeñas” (ACNITI, 2017,pr.7).

### 1.3.3.1 Formación de las burbujas y microburbujas

Según ORTIZ, (2009), Existen diferentes métodos para efectuar contacto del aire con el agua, los más utilizados son los difusores porosos sumergidos en el cuerpo de agua. La formación de la burbuja en un medio acuoso, depende del volumen de la burbuja que crece a medida que se le inyecta gas en su interior para luego producirse un despegue de la fuente generadora. Las micro burbujas se producen mejor en superficies hidrófobas. Los diferentes factores que afectan su formación, como el volumen final producto del gasto de inyección, se da de acuerdo a la teoría del volumen final  $V_{cri} = \frac{3}{4}Q$ , siendo  $Q =$  gasto de inyección de aire. Los perfiles de las burbujas se definen con las ecuaciones de Stokes, el cual se involucra las fuerzas de flotación y gravedad, cabe recalcar que la ecuación de Stoke sirve para líquidos con alta viscosidad y para líquidos de baja viscosidad como el agua se usan ecuaciones dadas por la competencia entre las fuerzas de flotación y gravedad.

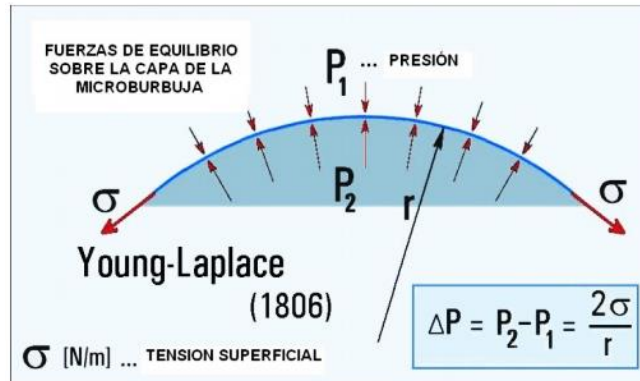
También está involucrado las fuerzas capilares que mantienen a la burbuja unida a la fuente de generación de burbujas o zona de inyección de gas, si el volumen crítico que son las fuerzas de flotación y de inercia supera las fuerzas capilares, las burbujas saldrán expelidas, (ORTIZ, 2009. sn).

Existe una relación entre el tamaño del orificio por donde sale el gas y el tamaño de la burbuja.

Una vez liberada la burbuja de su fuente generadora este se mantiene en su estructura, gracias a la presión exterior respecto a la burbuja y la presión interior siendo la presión interior mayor que la presión exterior, gracias a la ley de Laplace

## Ley de Laplace

Figura 1: Tensión superficial ley de Young-Laplace:  $\Delta P$  en la interface aire/agua.



Fuente: Beltrán, 2013

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{4\sigma}{d_b}$$

La presión interna está influenciada por el tamaño de las micro burbujas, mientras más pequeña mayor será su presión interna.

$$r = \frac{2(\sigma_s - \sigma)}{P_2 - P_1}$$

Dónde:

$\sigma$ : Tensión superficial del líquido, N/m

$\sigma_s$ : Tensión superficial del surfactante, N/m

$P_1$ : Presión ambiente, Pa

$P_2$ : Presión interna, Pa

R: Radio de la micro burbuja

### **1.3.4 Glaciares**

“Un glaciar es una masa de hielo, producto de los cambios fisicoquímicos que transforma agua en nieve, granizo o escarcha que con el pasar del tiempo se irán acumulando y generando más presión en sí mismo produciendo bloque de hielo, (Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Agencia Española de Cooperación Internacional, 2007,p.31).

Las moléculas de agua a presiones atmosféricas se estructuran de manera tetraédrica, gracias a un tipo de enlace muy especial que son las del puente de hidrógeno. Estos puentes de hidrogeno a medida que pierden energía cinética debido a la perdida de calor, produce en el agua un cambio de fase a una cristalina o de hielo, este cristal de hielo tiene una estructura hexagonal la cual depende de las presiones atmosféricas del lugar que interactuaran con el hielo, se compacta de diferentes formas, dando lugar a los diferentes tipos de hielo que conocemos, todo ello gracias a los puentes de hidrogeno. (TELLEZ, 2010,p.948)

### **1.3.5 Temperatura**

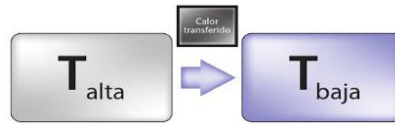
Esta es una magnitud escalar que está estrechamente relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, esta propiedad está asociada a la Ley cero de la termodinámica que explica el equilibrio térmico que es una igualdad de temperatura entre dos o más cuerpos que han finalizado una transferencia de calor (BARBOSA, 2015,p.22).

#### **Ley cero de la termodinámica (equilibrio térmico)**

El trabajo de investigación está basado en varios fenómenos de la naturaleza, entre ellas la ley cero de la termodinámica, esta ley nos explica el proceso termodinámico que sufren cada sistema y su interacción con el medio que lo rodea para llegar a un equilibrio térmico.



Esta ley nos dice que, si un cuerpo a una temperatura determinada entra en contacto con otro cuerpo que lo llamaremos sistemas, abra una interacción de cambio de energía (calor) entre estos dos cuerpos, y este paso de energía ira desde la mayor temperatura a una menor hasta llegar a un punto de equilibrio (BARBOSA, 2015,p.22).



### 1.3.5 Calor

“El calor es una cantidad medible, relacionada pero distinta de aquella que llamamos temperatura” (MULLER, 2002, p, 123). El calor está representado con la letra (Q) y esta es una transferencia de energía entre dos sistemas o cuerpos que cuenta con una diferencia de temperaturas.

Para poder medir la cantidad de energía o calor que un cuerpo recibe o pierde la podemos representar mediante una ecuación sencilla la cual utilizaremos para poder hallar la cantidad de energía que tendremos que extraer del sistema que son las lagunillas formadas por las aguas de deshielo del nevado Pachanqutu.

$$Q = m C \Delta T$$

Dónde:

Q: calor

m: la masa del cuerpo de agua

C: calor específico

$\Delta T$  : variación de la temperatura

$$\Delta T = T_f - T_i$$

- El calor específico. es el calor que tenemos que suministrar o extraer a un kg de una sustancia para aumentar su temperatura a 1°C

En el caso para facilitar el trabajo de cálculo el agua ya tiene definido sus calores específicos en cada uno de sus estados y estos se muestran a continuación.

- \* calor específico del agua es  $4186 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$
- \* calor específico del hielo es  $2090 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$
- \* calor específico del vapor es  $1920 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$

Estos valores mencionados serán datos que nos servirá más adelante para los cálculos respectivos.

### **1.3.6 Cambio de estado del agua**

Un cambio de estado según CASTAÑEDA (2016), se puede definir como una transformación física del agua en la cual sus propiedades varían según la fase en la que se encuentre, este cambio está íntimamente ligado a las variaciones de temperatura y la adquisición o pérdida de energía.

Es así que decimo que “el sistema llega a una temperatura tal que la energía ganada sólo se refleja en un cambio de estado de agregación del sistema” (GARRITZ, 2005,p.308).

Para medir el cambio de estado en este caso el del agua de igual manera consta con una ecuación. Esta ecuación se aplicará cada vez que el sistema absorba o pierda demasiada energía que provocará un cambio de estado físico en las moléculas del agua y está definida como

- **Calor Latente:** es la energía o calor necesario que se le debe añadir o quitar a un cuerpo para producir un cambio de estado y cada sustancia tiene su propio calor latente, a nivel molecular la sustancia al ganar energía rompe sus enlaces produciendo el mencionado cambio. También es conocido como calor latente de cambio de estado y este es el calor que debemos suministrar o

extraer a una sustancia en este caso al cuerpo de agua, para producir un cambio físico a lo que conocemos como cambio de estado.

De igual manera estos ya se encuentran definidos por lo que nos facilitara el trabajo.

\* Calor latente de cambio de estado de fusión es 334000 J/Kg

\* Calor latente de cambio de estado de vaporización 2248 800 J/Kg

Para poder tener una idea más grafica de los cambios de estado se muestra la siguiente figura.

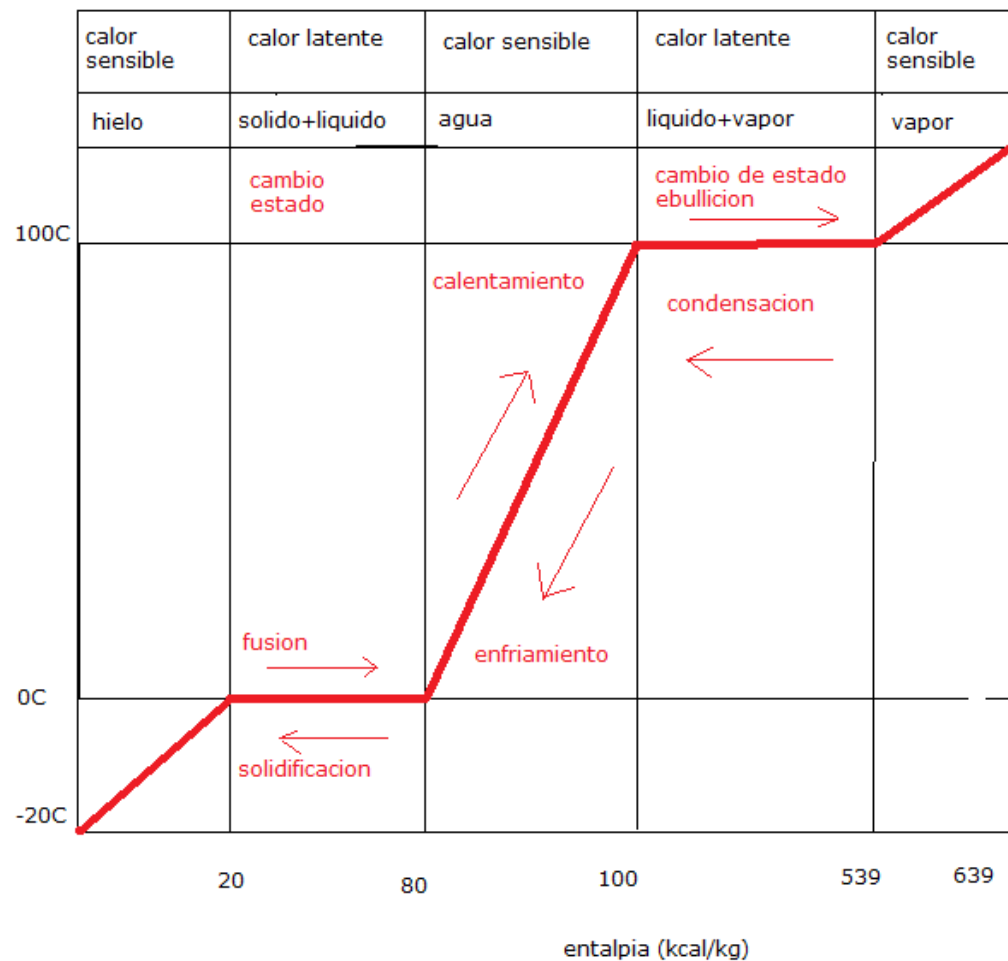


Figura 2: Cambio de estados del agua respecto a la temperatura y el calor

Fuente: (CASTAÑEDA, 2016)

### 1.3.6.1 Velocidad y tiempo de congelación

El tiempo de congelación es el tiempo necesario para reducir la temperatura desde una temperatura inicial, a la temperatura deseada en el centro térmico del producto que deseamos enfriar, mientras que la velocidad de congelamiento es el área que se congela en relación a un determinado tiempo (RAMÍREZ y LEÓN, sf).

Para poder determinar el tiempo de congelación de un producto se usa la ecuación científica de Plank ver (Ec.1). Esta es la más utilizada debido a la simplicidad, el cual se obtiene haciendo un balance de calor. Esta ecuación se aplica cuando el cuerpo a congelar está en su punto de congelación sin ser congelada dicho de otra manera por debajo de los 0°C. (RAMÍREZ y LEÓN, sf).

Su fórmula es:

$$t_f = \frac{\rho \Delta H_f}{T_o - T_\infty} \left[ \frac{P'a}{h_c} - \frac{R'a^2}{K} \right] \dots (\text{Ec.1})$$

Dónde:

$t_f$  = tiempo de congelación

$\Delta H_f$  = calor latente de congelación del alimento expresado en unidades KJ/Kg, energía requerida para el cambio de fase

$\rho$  = densidad del cuerpo

$T_o$  = temperatura del cuerpo K

$T_\infty$  = temperatura del medio enfriador K

$a$  = medida de longitud del diámetro de cilindro o esfera, o espesor de placa expresado en metros

$h_c$  = coeficiente de transferencia de calor por convección, transferencia de calor de una superficie a un fluido

$K$  = conductividad térmica, capacidad de un cuerpo de transferir calor.

$P'$  y  $R'$  = coeficiente de forma adimensional

	Lamina	Esfera	Cilindro
$P'$	1/2	1/6	1/4
$R'$	1/8	1/24	1/16

### 1.3.6.2 Propiedades que afectan el congelamiento del agua

El agua pura tiene un punto de congelación a 0°C a presión atmosférica, y también el agua puede estar en un estado de sobre enfriado, esto quiere decir que puede mantenerse en estado líquido a temperaturas por muy debajo de los -25°C, esta disminución del punto de congelación es proporcional a la concentración de soluto a mayor cantidad de sales en el cuerpo de agua su punto de congelación bajara según (GAGO y ROMAN, 2017).

Al incrementar un soluto no volátil a una solución este tiende a disminuir su punto de congelación, mientras que un agua continental puede disminuir su punto de congelación entre dependiendo de su composición, mientras que las aguas de mar que tienen una salinidad media de 35g/L, generalmente compuesta por disoluciones de NaCl, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>, entre otros. Estos componentes hacen que la densidad del agua de mar aumente y su tiempo de congelación también de 0°C y -5°C (GAGO Y ROMAN, 2017).

Factores que afectan el punto de ebullición.

- Altitud, a mayor altitud menor presión atmosférica menor punto de ebullición
- Presión atmosférica, si hay más presión mayor será el punto de ebullición
- Composición salina, diluyen las moléculas de agua disminuyendo su punto de enfriamiento

## **1.4 Formulación del problema**

### **1.4.1 Problema General**

**PG:** ¿Cuál será la velocidad de cristalización del agua utilizando micro-burbujas de aire, en las aguas del nevado Pachanqutu – Huarochirí 2018?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

**P1:** ¿Se producirá cristalización en el agua utilizando micro-burbujas de aire, para incrementar las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí 2018?

**P2:** ¿Cuál será la variación de temperatura en el agua del nevado Pachanqutu – Huarochirí, después del tratamiento?

## **1.5 justificación del estudio**

La cordillera peruana en estos últimos 40 años perdió alrededor del 42 % de su superficie glaciaria, un dato alarmante según el informe de la Unidad de Glaciología y Recurso, 2014. Las temporadas secas cada vez más largas hacen que la acumulación de glaciares sean escasas y tengan un acelerado proceso de desglaciación, producto de los diferentes factores climatológicos en especial la del calentamiento global, esto hace que las reservas de agua sólida disminuyan considerablemente causando gran preocupación en la población y las autoridades competentes a nivel nacional, fomentando campañas para la adaptación al cambio climático ya que prevén que en un futuro las aguas escasearán y llegaran al punto de un estrés hídrico y la población se verá seriamente afectada por ser una de nuestras fuentes más importantes para el desarrollo como sociedad.

Por ello es necesario plantear y fomentar nuevas investigaciones para evitar este retroceso, haciendo uso y modificación de las tecnologías desarrolladas hasta el momento, así como ayudar a las poblaciones alto andinas a aumentar

sus reservas de agua en estado sólido, para su uso en la agricultura en épocas de estiaje de igual manera fomentar su cuidado y aumentar estas importantes reservas de agua de nuestra cordillera, según lo dispone en el Artículo 3 de la Ley Marco Sobre el Cambio Climático, Ley N° 30754, el cual indica en el punto 3.3 que se debe implementar acción de conservación, protección, restauración de los ecosistemas frágiles de los glaciares para que siga brindando servicios ecosistémicos.

La presente tesis de investigación plantea introducir a las micro-burbujas en el ámbito de la conservación de los glaciares, aplicar las propiedades de las micro burbujas para acelerar el proceso de formación de aguas solidas que pueda servir como base para la formación de glaciares, utilizando las aguas de deshielo y las temperaturas extremas de las zonas alto andinas, que presentan un descenso térmico en épocas de invierno, pudiendo llegar varios grados centígrados bajo cero, todo ello utilizando a las micro burbujas como medio de transferencia y extracción de energía cinética de las aguas acumuladas en la base del nevados Pachanqutu – Huarochirí.

## **1.6 Hipótesis**

### **1.6.1 Hipótesis general**

**H.G:** Se determina la velocidad de cristalización del agua utilizando micro-burbujas de aire, para incrementar las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí 2018

### **1.6.2 Hipótesis específica**

**H1:** Las micro-burbujas de aire producen el congelamiento del agua, incrementando las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí

**H2:** Se produce la variacion de la temperatura del agua del nevado Pachanqutu Huarochirí.

## **1.7 Objetivos.**

### **1.7.1 Objetivo general:**

- Calcular la velocidad de cristalización del agua utilizando micro-burbujas de aire, para incrementar las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí 2018

### **1.7.2 Objetivo especifico**

- Verificar la cristalización de las aguas de deshielo utilizando micro burbujas de aire para el aumento de aguas solididad en el nevado Pachanqutu – Huarochirí.
- Determinar la variación de la temperatura en las agua de deshielos antes y después de la aplicación de las micro-burbujas de aire en el nevado Pachanqutu – Huarochirí



## II. MÉTODO

### 2.1 Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental, ya que se determinó la relación de causa efecto en los grupos experimentales, el cual se expuso a un tratamiento, se escogió este tipo de investigación porque fue la más adecuado para este fin ya que enfrentamos situaciones en la que no fue posible hacer un control riguroso del experimento y no se tuvo un grupo de control.

**Diseño de la muestra:** Para la presente tesis se aplica el muestreo probabilístico

Grupo	Pre-prueba	Tratamiento	Post-prueba	Diferencia
GE	O1	X	O2	$O2-O1=D1$

Dónde:

O1: análisis inicial de las condiciones normales del agua en el nevado

X: aplicación de las micro-burbujas de aire

O2: análisis de los cambios físico-químicos del agua

### 2.2 Variables de operacionalización

#### 2.2.1. Variables

- Variable independiente: cristalización de las aguas de deshielo utilizando micro-burbujas de aire
- Variable dependiente: incremento de las aguas solidas en el nevado de Pachanqutu en Huarochirí 2018

## 2.2.2. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDIDA
CRISTALIZACION DE AGUAS DE DESHIELO POR MICRONANOBURBUJAS DE AIRE	Las moléculas de agua a presiones atmosféricas se estructuran de manera tetraédrica, gracias a un tipo de enlace muy especial que son las del puente de hidrógeno. Estos puentes de hidrogeno a medida que pierden energía cinética debido a la pérdida de calor produce en el agua un cambio de fase a una cristalina o de hielo CASTAÑEDA (2016),	transferencia de energía por microburbujado en el agua para la reducción de su temperatura en el agua	TRANSFERENCIA DE TEMPERATURA CON MICROBURBUJAS	VOLUMEN	m <sup>3</sup>
				PRESION	PSI
				TEMPERATURA	C°
				TRATAMIENTO	hora
AUMENTO DE AGUAS SOLIDAS	Un glaciar es una masa de hielo producto de la compactación del agua sólida como la nieve, granizo o escarcha que se acumulan en las cordilleras o nevados por largo tiempo, según la Unidad de Glaciología y Recurso Hídrico del Perú, (2014)	se realizará la observación y medición de los parámetros físico-químicos del agua y su influencia en el congelamiento, así como el descenso de las temperaturas y el tiempo de congelamiento.	CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA DEL NEVADO	TURBIDEZ	NTU
				TEMPERATURA	C°
				DENSIDAD	Kg/m <sup>3</sup>
				SOLIDOS EN SUSPENSION	ppm
				CONDUCTIVIDAD	s/cm
				OD	(mg O <sub>2</sub> /l)
				DUREZA TOTAL	mg/l
				pH	(H+)
			CARACTERISTICAS DEL HIELO GENERADA	VOLUMEN	m <sup>3</sup>
				RESISTENCIA	Kg/cm <sup>2</sup>
				GROSOR	mm
				TIPO DE HIELO	
				TEMPERATURA	C°
VOLUMEN	m <sup>3</sup>				
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>				

Fuente: Elaboración propia, 2018

## 2.3 Población y muestra

### 2.3.1 Población

La población de estudio son las aguas de deshielo proveniente del nevado Pachanqutu que al deglaciarse forman lagunillas en las concavidades dejadas por el retroceso glaciario, en la cual se evaluaron sus características físicas y químicas.

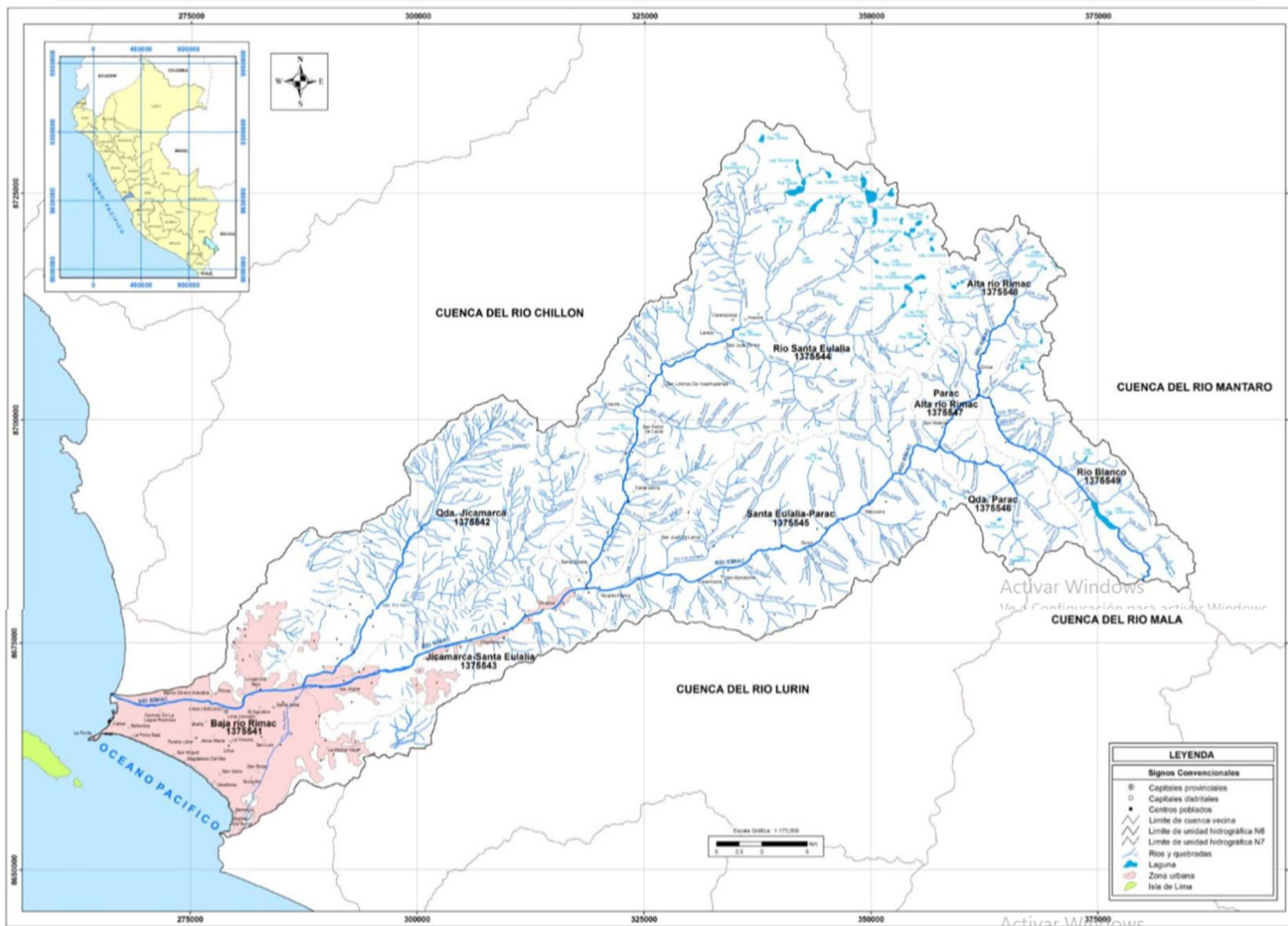
### 2.3.2 Muestra

El tamaño de la muestra es representativa la cual es de 30 L. De agua del nevado Pachanqutu, esta se seleccionó de manera probabilística simple, se escogió este método por que con este se midió la magnitud del error además de reducir el margen de error por cada repetición. El experimento fue aplicado in-situ, que es el nevado Pachanqutu, esta muestra fue tomada al azar de diferentes puntos de las lagunillas formadas en las concavidades de los nevados.

Tabla 3: Ubicación del lugar de experimentación.

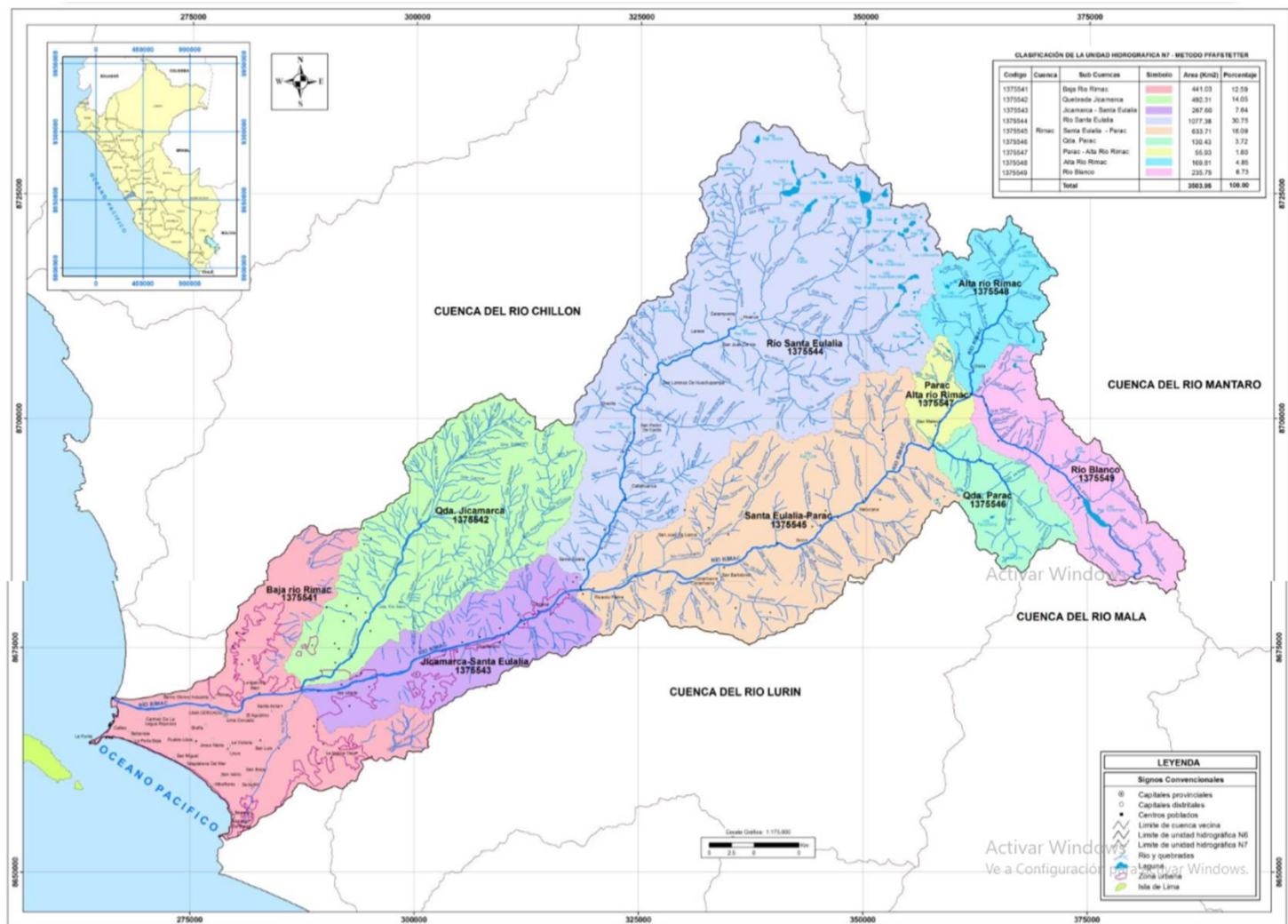
Lugar de experimentación	COORDENADAS WGS 84		
	Este	Sur	altura
	374142.49	8690717.72	4316 msnm

Fuente: Elaboración propia, 2018.



**Figura 3: Ubicación del lugar de experimentación**

Fuente: Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac, 2010



**Figura 4: Ubicación por sub cuenca hidrografía del río Blanco**

Fuente: Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac, 2010

## 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 4: Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

ETAPA	FUENTE	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS / HERRAMIENTAS	RESULTADOS
Análisis preliminar del agua de la zona	aguas del deshielo del nevado Pachanqutu-Huarochirí	Experimentación	Características del agua del nevado (ANEXO 3)	Análisis fisicoquímico del agua
Tratamiento con micro burbujas a diferentes volúmenes y temperaturas del agua	Laboratorio	Experimentación	Ficha de volumen óptimo de nano burbujas (ANEXO 3)	Volumen óptimo de congelamiento del agua
Análisis de resultados del proceso de tratamiento	aguas del deshielo del nevado Pachanqutu-Huarochirí	Experimentación	Características del agua del nevado (ANEXO 3)	Análisis de las características físicas del hielo producido

FUENTE: Elaboración propia

### 2.4.1 Resumen de Etapas:

#### 2.4.1.1 Etapa 1: Diseño del prototipo:

- Se elaboró el bosquejo del prototipo el cual nos permitió tener una idea de los materiales a utilizar para la construcción del sistema que nos permitirá hacer el congelamiento de las aguas de deshielo, ya que sin este no se podrá llevar a cabo los estudios y experimentos.

El diseño preliminar en papel ayudo a identificar los sistemas que involucran al generador de hielo, este se dividió en tres sistemas.



Figura 5: Diseño del sistema  
Fuente: elaboración propia, 2018

- Sistema de aireación, se hizo la compra de un compresor de aire de 9 L, con 1.5 HP, este regula la presión de aire por lo que es pertinente para poder hacer el control de volumen de micro-burbujas que se inyectara en las unidades de estudios.



Figura 6: Sistema de aireación  
Fuente: elaboración propia, 2018

- Sistema de refrigeración, para la elaboración de este sistema de refrigeración, se

dispuso de una nevera vieja, el cual se desmantelo y se obtuvieron los componentes necesarios para la construcción de la cámara de refrigeración, este cuenta con las siguientes partes:



Figura 7: Armado del sistema  
Fuente: elaboración propia, 2018

Un evaporador el cual se encargara de disminuir las temperaturas del aire, por debajo del punto de congelamiento del agua para así producir la cristalización de las aguas.

Cuenta con una cámara térmica que evita que el frio escape al ambiente, este es de material de polietileno, el cual se encarga de mantener las temperaturas bajas.

Dentro del sistema refrigerante se diseñó una red de tubos por el cual pasa el aire que viene del compresor, este tubo es de cobre de  $\frac{1}{4}$ " , con un espesor de pared de 0.60 mm para soportar las altas presiones, la longitud de este tubo es de 30 metros, esta longitud está directamente ligado al tiempo que necesita el aire dentro de la cámara para adquirir las temperaturas bajo cero, necesarias para el congelamiento del agua.





Figura 8: Sistema de refrigeración  
Fuente: elaboración propia, 2018

El sistema de refrigeración, también cuenta con un condensador de 1.20 m de largo con 0.60 m de ancho, este ayuda a que el sistema de refrigeración evapore el líquido refrigerante de la cámara de refrigeración, también cuenta con un compresor o motor de refrigeradora el cual comprime el líquido refrigerante lo cual hace posible el funcionamiento de todo el sistema de refrigeración.



Figura 9: Condensador de nevera y motor  
Fuente: elaboración propia, 2018

Sistema de burbujeo, se diseñó los difusores de micro burbujas el cual se encarga de transferir el aire frio hacia las aguas del nevado, el cual está elaborado a base de un tubo de  $\frac{1}{2}$  por  $\frac{3}{4}$ " con un cabezal de  $\frac{1}{4}$ " para conectar el tubo que viene desde la zona de refrigeración. Este difusor se elaboró con un filtro INOX ultra fina de 400 con aberturas microscópicas el cual es utilizado normalmente para filtros de partículas finas , cuenta con una porosidad de 0.25 micras con un largo de 50 cm, el cual se enrolló en el tubo de  $\frac{1}{2}$  por  $\frac{3}{4}$ " con un total de 4 vueltas, se aseguró con los extremos con abrazaderas inoxidable, el tubo de  $\frac{1}{2}$  por  $\frac{3}{4}$ " esta agujereado para tener una buena distribución de aire por el sistema, adicionalmente sirve como estructura para el filtro INOX y también mantiene la presión y forma del difusor.



Figura 10: Difusor micrométrico  
Fuente: elaboración propia, 2018

Se valió de tuberías  $\frac{1}{4}$  con resistencia a presiones altas para unir los tres sistemas así como los pistones de unión, para evitar rupturas al momento de que el aire fluya, a las tuberías de jebes de  $\frac{1}{4}$  el cual están unidas con uniones de acero se le acoplo una válvula para controlar el cierre del flujo de aire



Figura 11: Tubería de alta presión con válvula de cierre  
Fuente: elaboración propia, 2018

Se acoplo a la tubería un regulador de presión, para poder medir la presión, como parte de la seguridad del sistema y evitar daños en las tuberías por exceso de presión.



Figura 12: Manómetro  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 13: Unión del difusor, manómetro y válvula de cierre  
Fuente: elaboración propia, 2018

Una vez hecho todas las uniones de la tubería por donde ira el flujo de aire a baja temperatura, se unió al tubo de cobre el cual es conocido por su resistencia, ligereza y su capacidad de transferencia térmica. Esta parte del circuito (tubo de cobre) ira en la cámara de refrigeración para disminuir la temperatura del flujo de aire.



Figura 14: Ensamble de la tubería de cobre  
Fuente: elaboración propia, 2018

#### 2.4.1.2 Etapa 2: Toma de muestra del agua en el nevado.

- El muestreo fue realizado según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, los puntos de muestreo fueron tomados a 12 km de las faldas del nevado Pachanqutu en Huarochirí.

Tabla 5: Ubicación de los puntos de muestreo del agua

Punto de muestreo	COORDENADAS WGS 84		
	Este	Sur	altura
<b>P1</b>	374142.49	8690717.72	4316 msnm
<b>P2</b>	374180.42	8690457.15	4316 msnm
<b>P3</b>	374255.97	8690371.29	4316 msnm
<b>P4</b>	374331.15	8690248.2	4316 msnm
<b>P5</b>	374397.85	8690175.28	4316 msnm
<b>P6</b>	374360.17	8690202.64	4316 msnm
<b>P7</b>	374428.56	8690106.96	4316 msnm

Fuente: Elaboración propia, 2018

-dicho muestreo se realizó en fecha: 11 de noviembre de 2018, directamente de la lagunilla, el cual se registra en las fichas, el tiempo, las circunstancias y la ubicación, se tomaron 6 muestras de manera aleatoria en diferentes puntos de la lagunilla para homogenizar resultados.

Estas muestras fueron tomadas en frascos de 1 L. el pH fue analizado in situ, utilizando papel pH, el cual arrojó un resultado promedio de 8 mg/L, en cuanto la temperatura también fue analizado in situ el cual nos dio un resultado de 13.2 °C.



Figura 15: pH in situ  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 16: Temperatura in situ  
Fuente: elaboración propia, 2018

Las muestras fueron puestas en un cooler a temperatura estable para no tener ninguna alteración, y posteriormente fueron analizados en el laboratorio de la UCV para tener resultados preliminares antes de la aplicación de la tecnología para según eso poder descartar si la composición del agua afectaría en el proceso de congelamiento del agua.



Figura 17: Muestreo en envases esterilizados de 1L  
Fuente: elaboración propia, 2018

#### **2.4.1.3 Etapa 3: Aplicación de la tecnología.**

La aplicación del prototipo fue ejecutada in-situ, el cual se hizo el ensamble a 4338 msnm. En la laguna Yuracmayo, se efectuó la experimentación en esta zona por su fácil acceso. Las aguas de experimentación se tomaron de la laguna de Yuracmayo en baldes de 20 L, de diferentes puntos para tener un resultado homogéneo.



Figura 18: Muestras aleatorias en baldes de 20 L  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 19: Ensamble del prototipo de experimentación  
Fuente: elaboración propia, 2018

Se colocó el tubo de  $\frac{1}{2}$  por  $\frac{1}{4}$  que contiene el difusor de micro-burbujas en el balde de 20 L. el cual como prueba inicial se hizo con 3 L de agua. Se tomó la temperatura del agua, para tener en registro de las condiciones térmicas a las que se está aplicando la tecnología.





Figura 20: Toma de datos de los contenedores  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 21: Tubo difusores de 1/4  
Fuente: elaboración propia, 2018

El difusor se coloca al fondo del balde para empezar a inyectar las micro-burbujas, esto se realizó un caudal de 12 L/min, a una presión constante de aire de 45 PSI. Esto se efectuó con tres tiempos: uno con 40 min, la segunda 50 min y al final con 60 min, cada una de estas consta con tres repeticiones.

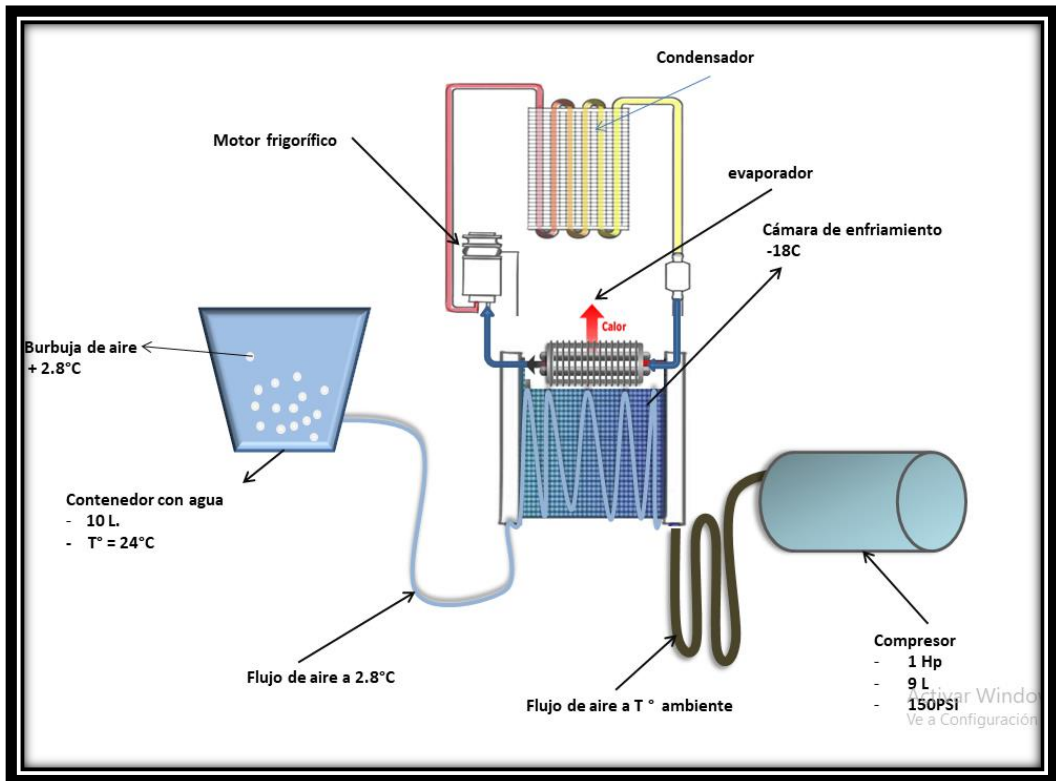


Figura 22: Diagrama de proceso  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 23: Micro difusor en funcionamiento  
Fuente: elaboración propia, 2018

- Pruebas de funcionamiento, se disminuyó la temperatura de la cámara de refrigeración hasta  $-18.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zona donde pasa el tubo de cobre para enfriar el aire.



Figura 24: Toma de temperatura en la cámara de refrigeración  
Fuente: elaboración propia, 2018

Se tomó las temperaturas de salida del aire que proviene de la zona de congelamiento, el cual se observa una disminución de la temperatura ambiental de  $22.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$



Figura 25: Toma de temperatura en la salida de aire refrigerado  
Fuente: elaboración propia, 2018

#### 2.4.1.4 Etapa 4: Análisis de las muestras de agua preliminar.

La toma de muestra efectuada en la laguna Yuracmayo, fue transportada en un cooler manteniéndolo a temperatura estable, estas muestras fueron llevadas al laboratorio de análisis físico-químico la UCV en menos de las 24 horas para que las muestras no se vean alteradas y tengamos un resultado sin error.



Figura 26: Análisis con multiparámetro  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 27: Análisis con turbidímetro  
Fuente: elaboración propia, 2018



Figura 28: Cálculo y análisis fisicoquímico  
Fuente: elaboración propia, 2018

## 2.4.1 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

### 2.4.1.1 Técnicas

Las técnicas que se utilizó para la investigación fueron la observación sistémica y directa de los hechos con la finalidad de documentar los cambios físico-químicos del agua, sus parámetros y el comportamiento que tuvo las unidades de experimentación a lo largo del proceso.

Otra técnica pertinente a utilizar es la hoja de verificación o “check lists”, estos formatos nos permitirán controlar y recolectar los datos de manera sistemática y ordenada.

Esta recolección de datos nos permitió hacer un análisis para sacar conclusiones que respondan a la hipótesis.

### 2.4.1.2 instrumentos

Para recolectar los datos con validez y confiabilidad se diseñó los instrumentos de registro de datos observables que son; las fichas de recolección de datos, hoja custodia e instrumentos de laboratorio, estos instrumentos y formatos nos permitió hacer un seguimiento y registrar los datos observables de manera fiable ya que representa verdaderamente las variables que se desea estudiar.

## **2.4.2 Validez y confiabilidad**

### **2.4.2.1 Validez**

Los instrumentos fueron validados siguiendo los criterios de expertos o jueces conocedores del tema en estudio, la cual revisaron los instrumentos, hicieron las correcciones necesarias y dieron su aprobación para la aplicación de dichos instrumentos, (**Ver anexo 03**).

### **2.4.2.2 Confiabilidad**

Para medir la confiabilidad de los instrumentos se dio mediante la calificación de los tres jueces (**Ver anexo 03**). Estos jueces designaron la confiabilidad de los instrumentos mediante un informe de opinión de expertos de instrumentos de investigación con el cual evaluaron la confiabilidad de los instrumentos.

Según el resultado la confiabilidad del instrumento puede ser nula siendo igual a “cero” o puede ser confiable si el valor oscila alrededor de “uno” siendo este el máximo valor que refleja una confiabilidad total del instrumento. La valides y confiabilidad fueron dadas por los siguientes expertos:

- Dr. Quijano Pacheco Wilbur  
CIP:90140
- Dr. Acosta Suasnabar Eusterio Horacio  
CIP: 25450
- Dr. Gaudencio Laureano Valentin  
CIP:121554

## 2.5 Métodos de análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos de los materiales y equipos se utilizó Excel y SPSS; para determinar las características fisicoquímicas del agua el análisis se evaluó en laboratorios certificados.

Para el análisis de los datos el trabajo se planteó bajo el diseño completamente al azar (DCA), donde se tuvo tres tratamientos con tres repeticiones y una unidad de estudio experimental de contenedores de 90 L. de agua, colectada de los deshielos del nevado Pachanqutu, siendo el modelo aditivo lineal:

Modelo matemático (MAL):

$$y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$$

En donde:

- $y_{ij}$ : Variable respuesta de la  $ij$ -ésima unidad experimental
- $\mu$ : Efecto de la media general
- $t_i$ : Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento
- $\varepsilon_{ij}$ : Efecto del error experimental asociado a la  $i$ -ésima unidad experimental

Los datos obtenidos fueron registrados en las fichas de observación estos pasaron a los medios de análisis de datos, para hacer el análisis estadístico se utilizó SPSS y para el análisis de los promedios se usó Tukey, mientras que para generar los cuadros y gráficos empleo Excel, así como software complementarios.

## 2.6 Aspectos éticos

La veracidad de los resultados obtenidos en este estudio es confiables y reproducibles para su comprobación, se respeta las propiedades intelectuales de todas las personas a las cuales se recurrió para el cumplimiento de este proyecto, se tiene consideración y una ética ambiental sin prejuicio a terceros, de igual manera de ser necesario se protege a los involucrados en esta investigación, esta investigación tiene un enfoque directo y honesto.

### III. RESULTADOS:

Para poder hallar los resultados preliminares se acudió a los laboratorios de la Universidad Cesar Vallejo - UCV y para los resultados finales aplicados con la tecnología se hizo empíricamente mediante la observación y registro del fenómeno entre otros medios de análisis.

Para ejecutar la experimentación se hizo mediante un sistema de 3 por 3, que consistió en tres repeticiones aplicando tres tiempos diferentes como son: 4, 5 y 6 horas, esto con el fin de ver cuál de los tiempos tuvo mayor capacidad de transferencia térmica, y cuál es el más cercano a producir cristalización en el agua y su eficiencia de transferencia de las micro-burbujas.

#### 4.1 Resultados de los parámetros físico-químicos del agua de la laguna Yuracmayo.

Este análisis fue efectuado con los instrumentos de la Universidad Cesar Vallejo, el cual se registró debidamente, se descartó análisis biológicos ya que no es objeto de estudio como son DBO5 y DQO.

Tabla 6: Medición de los parámetros de Turbiedad de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo.

MEDICION DE LA TURBIEDAD EN NTU				
N° de la muestra	REPETCION 1	REPETCION 2	REPETCION 3	Promedio en NTU
Muestra 1	20.2	19.6	20	19.93333333
Muestra 2	20.9	20.9	19.85	20.55
Muestra 3	24	24.81	24.01	24.27333333
Muestra 4	24	24.1	24	24.03333333
Muestra 5	22	21.98	21	21.66
Muestra 6	23.63	23	24	23.54333333
Promedio total				<b>22.33222222</b>

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros de la turbidez del agua de la laguna de Yuracmayo, se obtuvieron calculando los promedios de las repeticiones y los números de muestra, el cual nos dio un promedio total de 22.33 de turbidez lo cual está dentro de lo categoría A2 “Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional”, según



ECA, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, el cual es de 100 NTU, como podemos ver está por debajo de tratamiento de agua por desinfección.

Tabla 7: Medición de los parámetros pH de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo.

<b>MEDICION DEL pH</b>	
<b>N° de la muestra</b>	<b>unidad pH</b>
Muestra 1	7.92
Muestra 2	7.93
Muestra 3	8.03
Muestra 4	7.98
Muestra 5	8.01
Muestra 6	7.89
<b>Promedio total:</b>	<b>7.96</b>

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al pH se hizo 6 repeticiones para sacar el promedio total el cual cuenta la laguna Yuracmayo, esta medición coincide en aproximación con la medición que se hizo en campo, el cual era de pH=8 y la de los análisis en laboratorio con los instrumentos facilitados por la Universidad Cesar Vallejo. Este fue de 7.96 en promedio, lo cual está dentro de las ECAS para consumo humano como agua en categoría A1 “Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección”

El parámetro temperatura fue hecha in-situ la cual se tuvo un resultado de 13.3 °C en hora 1:00 pm. Hora donde la radiación en la altura es más intensa, a pesar de ello se mantuvo una temperatura constante en la altura, posiblemente sea por el flujo constante de agua de deshielo.

Tabla 8: Medición del parámetro Conductividad Eléctrica CE de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo

<b>MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE)</b>				
<b>N° de la muestra</b>	<b>REPETCION 1</b>	<b>REPETCION 2</b>	<b>REPETCION 3</b>	<b>µS/cm</b>
Muestra 1	137.5	137	137.9	137.4666667
Muestra 2	137.5	137.5	138	137.6666667
Muestra 3	137.7	137.5	137.5	137.5666667
Muestra 4	138.5	138.1	138.5	138.3666667
Muestra 5	137.7	137.4	137.5	137.5333333
Muestra 6	138	138	138	138
<b>Promedio total</b>				<b>137.7666667</b>

Fuente: Elaboración Propia

La conductividad eléctrica va de la mano con la cantidad de solidos totales en la fuente de agua la cual se observó que es alta por lo que la conductividad promedio que pudimos ver es de 137.76 µS/cm, esto también tiene relevancia o efecto directo con el tiempo de congelamiento del agua ya que a mayor cantidad de solidos o minerales disponibles en un líquido variara el tiempo de congelamiento según su composición mineralógica.

MULLER (2002) menciona que un agua pura, con ausencia de minerales se congela exactamente a 0°C el punto de congelamiento del agua, mientras más componentes mineralógicos, disminuirá su estado de congelamiento por muy debajo de los 0°C pudiendo llegar hasta los -5°C.

Tabla 9: Medición del oxígeno disuelto OD en las muestras de agua de la laguna Yuracmayo

<b>MEDICION DEL OXIGENO DISUELTO OD</b>				
<b>N° de la muestra</b>	<b>REPETCION 1</b>	<b>REPETCION 2</b>	<b>REPETCION 3</b>	<b>mg/L</b>
Muestra 1	6.09	6	6.78	6.29
Muestra 2	6.39	6.4	6.4	6.396666667
Muestra 3	5.83	5.83	5.85	5.836666667
Muestra 4	5.97	6.01	5.89	5.956666667
Muestra 5	6.83	6.89	6.71	6.81
Muestra 6	6.77	6.8	6.75	6.773333333
<b>Promedio total</b>				<b>6.343888889</b>

Fuente: elaboración propia

El oxígeno disponible en las muestras, entra dentro de la categoría E1 lagos y lagunas de las ECAS lo cual indica que cumple con los parámetros que deberían medir las lagunas para la producción piscícola entre otras, ya que como podemos ver los valores están entre 6.34 mg/L y los del ECA deben ser mayores o iguales a 5 mg/L.

Tabla 10: Medición de los sólidos suspendidos totales SST de las muestras de agua de la laguna Yuracmayo

<b>MEDICION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SST</b>				
<b>N° de la muestra</b>	<b>REPETCION 1</b>	<b>REPETCION 2</b>	<b>REPETCION 3</b>	<b>mg/L</b>
Muestra 1	120	110	100	110
Muestra 2	0	120	100	73.33333333
Muestra 3	100	100	120	106.6666667
Muestra 4	160	140	160	153.3333333
Muestra 5	60	70	70	66.66666667
Muestra 6	80	80	80	80
<b>Promedio total</b>				<b>98.33333333</b>

Fuente: elaboración propia

Los sólidos suspendidos de la laguna Yuracmayo son elevadas con gran cantidad de sólidos en suspensión eso se pudo ver a simple vista pues que su color no era cristalino sino opaco muestra de que contiene grandes cantidades de minerales en su cuerpo que no logran sedimentar por el contante movimiento, por ser una laguna activa y por la composición de los suelos en la zona, los sólidos suspendidos no concuerdan con los ECAS que esta debería ser de valores menores a las 25 ml/L. este factor es crucial en el experimento ya que podemos ver que la laguna contiene gran cantidad de minerales por lo que se deduce que su punto de congelación esta por muy debajo de los 0°C y por ende el tiempo de congelación será mayor y necesitara mayor volumen de burbujas para hacer la transferencia de temperatura.

## 4.2 Resultados de la transferencia de calor y la disminución de temperatura del agua.

Para el cálculo del tiempo de congelación usamos la ecuación de Max Plank (ver ec.1). Esta ecuación es comúnmente usada debido a la simplicidad, se obtuvo haciendo un balance de. La configuración geométrica de la muestra es un cilindro infinito, una placa infinita o una esfera. Esta ecuación nos predecirá el tiempo aproximado para poder saber en cuanto tiempo llegaremos a congelar el agua, con los datos que tenemos hasta el momento.

Su fórmula es:

$$t_f = \frac{\rho \Delta H_f}{T_o - T_\infty} \left[ \frac{P'a}{h_c} - \frac{R'a^2}{K} \right] \text{----(ec. 1)}$$

Dónde:

- $t_f$  = tiempo de congelación
- $\Delta H_f$  = calor latente .de congelación/fusión del agua expresado en unidades KJ/Kg
- $\rho$  = densidad del agua expresando en unidades  $\text{Kg}/\text{m}^3$
- $T_o$  = temperatura del agua en grados kelvin K
- $T_\infty$  = temperatura del medio enfriador (o calefactor) expresado en grados Kelvin K
- $a$  = medida de longitud del diámetro de cilindro o esfera, o espesor de placa expresado en metros
- $h_c$  = coeficiente de transferencia de calor por convección
- $K$  = conductividad térmica del agua
- $P'$  y  $R'$  = coeficiente de forma adimensional

**Tabla 11:** de coeficiente de transferencia de calor

Medio	Coeficiente de transferencia de calor h (W/m <sup>2</sup> .K)
Aire (conveccion natural)	5. - 25
Aire / vapor supercalentado (Conveccion forzada)	20. -300
Petroleo (Conveccion forzada)	60. - 1800
Agua (Conveccion forzada)	300. - 6000
Agua (en ebullicion)	3000. - 60000

Fuente: Vaxa Software, s.f.

Tabla 12: Conductividad térmica de diferentes materiales

Material	$\lambda$ W/(m·K)	Material	$\lambda$ W/(m·K)
Acero	47 - 58	Hielo	2
Acero inoxidable	12 - 45	Hierro	80,2
Agua	0,58	Hormigón	1,7
Aire	0,025	Ladrillo	0,80
Alcohol	0,16	Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Alpaca	29,1	Latón	81 - 116
Aluminio puro	237	Litio	301,2
Amianto	0,04	Madera	0,04 - 0,4
Bronce	116 - 186	Mercurio	83,7
Caucho	0,16	Mica	0,35
Cemento Portland	0,29	Níquel	52,3
Cinc	106 - 140	Oro	318
Cobre	401	Parafina	0,21
Corcho	0,03 - 0,04	Piedra arenisca	2,4
Diamante	900 - 2300	Plata	429
Estaño	64,0	Plomo	35,0
Fibra de vidrio	0,03 - 0,07	Polipropileno	0,12
Glicerina	0,29	Tierra húmeda	0,8
Helio (superfluidez)	infinito	Vidrio	0,6 - 1,1

Fuente: Vaxa Software, s.f.

#### 4.3 Análisis y cálculo del tiempo de congelación.

Según los datos adquiridos en el campo y los previos análisis efectuados a las características del agua del nevado Pachanqutu en la que debemos experimentar, nos valemos de la teoría de plank, para poder adquirir el tiempo de congelamiento del agua, si bien sabemos que para aplicar esta fórmula debemos tener en cuenta muchas suposiciones y consideraciones, como son: la muestra de agua del nevado

Pachanqutu debe estar ingresando a su punto de congelación, sin ser congelada debido a la capacidad calorífica del agua, por lo que tenemos el valor de  $T_o = 0^\circ\text{C}$ . El medio de congelación debe estar en estado estacionario, esto quiere decir que la temperatura debe estar constante, por consiguiente no debe variar el flujo de salida del aire congelado y el sistema de refrigeración debe estar a una temperatura constante. La cual no supone un problema ya que el experimento se dio con un caudal constante de  $0.3276 \text{ m}^3/\text{h}$ , a una presión media de 45 PSI y manteniendo una temperatura del difusor de  $2.8^\circ\text{C}$  y una temperatura del sistema de refrigeración de  $-18.2^\circ\text{C}$ .

**Calculo:**

$$t_f = \frac{\rho \Delta H_f}{T_o - T_\infty} \left[ \frac{P'a}{h_c} - \frac{R'a^2}{k} \right]$$

$$t_f = \frac{997 \text{ kg}/\text{m}^3 * 334 \text{ KJ}/\text{Kg}}{273.15\text{K} - 254.95\text{K}} \left[ \frac{1/4 * 0,30\text{m}}{300 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}} - \frac{1/16 * (0,30\text{m})^2}{0.58 \text{ W}/\text{m K}} \right]$$

$$t_f = \frac{332998 \text{ KJ}}{36.6\text{m}^3\text{K}} \left[ \frac{0.0075\text{m}}{300 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}} - \frac{0.005625\text{m}^2}{0.58 \text{ W}/\text{m K}} \right]$$

$$t_f = 9098.30 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3\text{K}} \left[ 2.5 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3\text{K}}{\text{W}} - 9.698 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3\text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$t_f = 9098.30 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^3\text{K}} * (-9.448 * 10^{-3}) \frac{\text{m}^3\text{K}}{\text{W}}$$

$$t_f = -85.96 \frac{\text{KJ}}{\text{W}} \left( \frac{1\text{W}}{1\text{J}/\text{seg}} \right)$$

$$t_f = -85.96 \frac{\text{KJ} \cdot \text{seg}}{\text{J}} \left( \frac{1000\text{J}}{1\text{KJ}} \right)$$

$$t_f = -85963.305 \text{ seg} \left( \frac{1\text{hr}}{3600\text{seg}} \right)$$

$$t_f = 1.34 \text{ horas}$$

Al final de la aplicación de la teoría nos estima que debemos tener un burbujeo constante de 0.091 Litros por segundo de aire a  $-5^\circ\text{C}$ , esto durante 1.39 horas aproximadamente, según el cálculo teórico el cual podría variar para obtener hielo.

#### 4.4 Análisis y cálculo del tiempo de enfriamiento.

Anteriormente pudimos obtener el tiempo que demoraría en congelarse el agua que es la cristalización completa del agua, nos dio un resultado aproximado de 1.39 horas, por lo que también es esencial obtener el tiempo de enfriamiento del agua, esta etapa consiste en saber cuánto tiempo necesita el agua para poder disminuir su temperatura con un flujo de aire a condiciones constantes como ya se mencionó anteriormente.

Para lograr obtener esta estimación utilizamos la Ley de Enfriamiento de Newton, que es nada menos que una ecuación sencilla de diferenciales. Y para obtener un valor real aplicamos datos reales que se obtuvo de la experimentación en campo.

##### **Ecuación diferencial ley de enfriamiento de cuerpos de Newton**

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_m)$$

Esta ecuación nos indica que la rapidez con la que disminuye la temperatura de un cuerpo es proporcional a la diferencia de la temperatura del cuerpo “T” menos la temperatura del medio ambiente “Tm”

$dT$  = temperatura

$dt$  = tiempo

$k$  = constante de proporcionalidad

Despejamos la ecuación y obtenemos la formula general el cual es:

$$T = C * e^{k*t} + T_m$$

C = constante

Una vez obtenida la formula general empezaremos a hallar la constante de

proporcionalidad “k” y la constante “C”, esto será posible gracias a los datos adquiridos en el trabajo de campo.

Como sabemos la experimentación inicio a una temperatura de 20.2°C esto cuando el tiempo era t=0, al cabo de 4 horas de burbujeo se verifico una disminución de temperatura T=6.2°C a una temperatura del medio enfriador de 2.8°C.

Por consiguiente:

tabulacion	
T°	t = horas
20.2	0
6.2	4

$$“C”=17.4$$

$$“K”=-0.4082$$

$$T = 17.4 * e^{-0.4082*t} + 2.8$$

Una vez obtenida la formula general debemos hallar a que tiempo la temperatura habrá llegado a 0°C.

$$0 = 17.4 * e^{-0.4082*t} + 2.8$$

$$-2.8 = 17.4 * e^{-0.4082*t}$$

$$\frac{-2.8}{17.4} = e^{-0.4082*t}$$

$$\frac{-2.8}{17.4} = e^{-0.4082*t}$$

$$-1.82685 = -0.4082 * t$$

$$4:47 \text{ horas} = t$$

Para producir hielo en los glaciares se cuenta con el prototipo que es la modificación

Aplicando la fórmula de enfriamiento de cuerpos de Newton, nos estima que la



temperatura llegara a 0°C en lapso aproximado de 4 horas con 47 minutos, todo ello a una temperatura constante del medio difusor de 2.8 °C a una presión de 45 PSI y un caudal de 0.3276 m<sup>3</sup>/h. para poder hacer el contraste del tiempo adquirido con la ley de newton se ingresó los datos al **Software Plank's 1.0 v**, desarrollado por Julio Mauricio Vidaurre Ruiz, el cual se respeta los derechos del autor. Dicho software es aplicado en la industria alimentaria para calcular el tiempo de congelación de los alimentos, es de fácil uso ya que solo requiere el ingreso de datos que se adquiere en el campo y tablas ya predispuesta y calcula el tiempo de congelamiento de los alimentos. Se pudo utilizar para calcular el tiempo enfriamiento del agua ingresando los datos adecuados

### Software Plank's 1.0 v

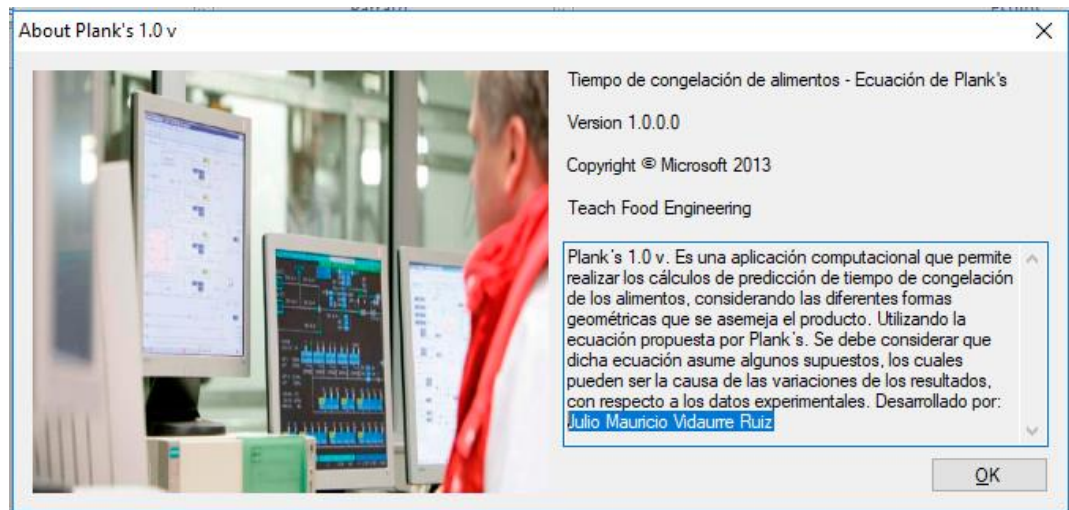


Figura 29: Software Plank 1.0 V

Fuente: Julio Mauricio Vidaurre Ruiz

## Cálculo del tiempo de enfriamiento mediante software Software Plank's 1.0 v

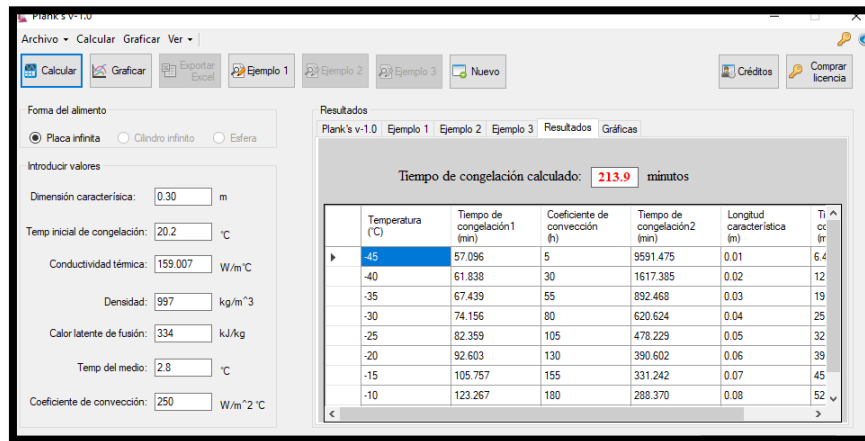


Figura 30: Cuadro tiempo de enfriamiento con Plank 1.0 V

Fuente: Julio Mauricio Vidaurre Ruiz

Como podemos observar el cálculo obtenido por el software indica un tiempo de enfriamiento de 213.9 minutos el cual expresado en horas es de 3:56 horas, y el cálculo obtenido con la ley de enfriamiento de Newton es de 4:47 horas se aproxima una diferencia de una hora aproximadamente, es podría deberse a que en el cálculo con la fórmula de Newton se consideró disminuir la temperatura hasta 0°C mientras que el software utiliza el rango de disminución de temperatura de 2.8°C.

### Resultado y análisis de la temperatura respecto al tiempo.

Tabla 13: Resumen de los resultados de variación de temperatura  $\Delta T^\circ$

PARAMETRO	TRATAMIENTO	ANTES DEL TRATAMIENTO	DESPUES DEL TRATAMIENTO	VARIACION	EFICIENCIA	
$\Delta T^\circ$	T1	24	6.1	6.13	17.9	70%
		24	5.8		18.2	
		24	6.5		17.5	
	T2	24	5	5.03	19	75%
		24	5.2		18.8	
		24	4.9		19.1	
	T3	24	4.3	4.33	19.7	79%
		24	4.2		19.8	
		24	4.5		19.5	
	TF-1	24	3.8	3.8	20.2	82%
	TF-2	24	3.5	3.5	20.5	84%

Fuente: elaboración propia, 2018

En la tabla 8, podemos observar la variación de temperatura que se pudo obtener en relación al tiempo haciendo una comparación con un antes del tratamiento, para la experimentación se hicieron tres tratamientos (T1=4horas, T2=5horas, T3=6 horas), en la que se pudo constatar que existe una reducción lineal de la temperatura para T1 se registró una temperatura de 6.13°C, para T2 = 5.03°C y T3=4.33 °C, existe disminución de temperatura a medida que pasa el tiempo. Adicionalmente y se hizo el cálculo de dos tratamientos teóricos (TF-1 y TF-2), para constatar si la fórmula aplicada tenía el mismo comportamiento, la cual indica que si tiene una reducción de temperatura lineal.

Tabla 14: de resultado de eficiencia del sistema, temperatura respecto al tiempo

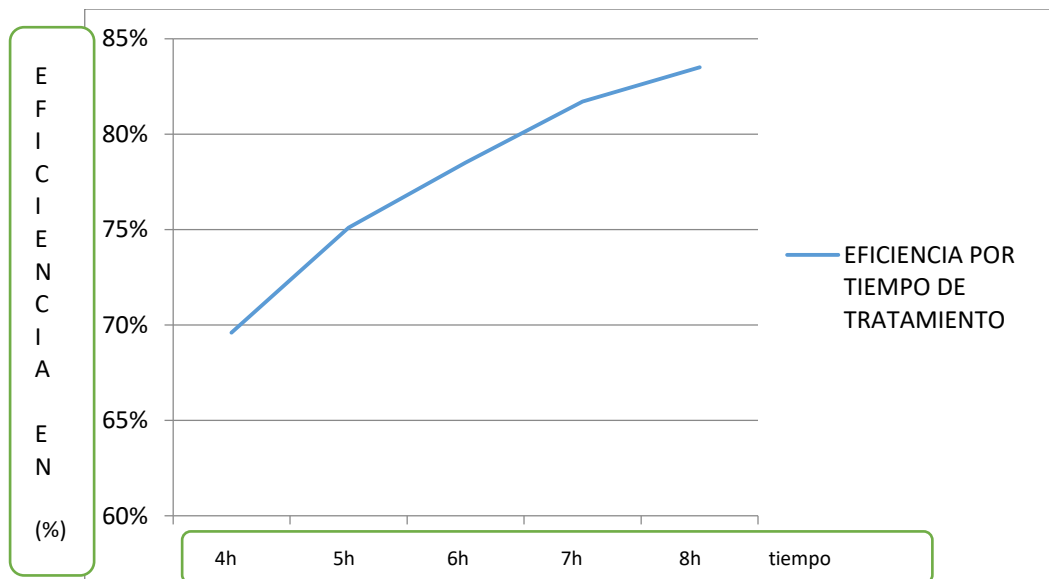
MUESTRA	TIEMPO	TEMPERATURA PROMEDIO	PORCENTAJE DE EFICIENCIA
T1	4 horas	6.1	70%
T2	5 horas	5.0	75%
T3	6 horas	4.3	79%
TF-1	7 horas	3.7	82%
TF-2	8 horas	3.3	84%

Fuente: elaboración propia, 2018

El análisis de eficiencia de variación de la temperatura respecto al tiempo, nos sirve para saber si el sistema creado es eficiente en su uso. Este nos arrojó un resultado exponencial. Podemos ver que a las 4 horas, la temperatura había disminuido hasta los 6°C y su eficiencia es del 70%, llegado a las 6 horas la temperatura había disminuido a los 5°C y su eficiencia había aumentado en 75%, a medida que pasaba el tiempo el sistema de congelación era más eficiente. Según lo que se pudo observar al momento de la experimentación, vimos que el motor que se encarga de congelar la cámara de enfriamiento, lugar por donde pasa el flujo de aire, en un primer momento tuvo un trabajo constante sin descanso ya que extraía el calor de la cámara de enfriamiento, pero a medida que la temperatura en la cámara de enfriamiento disminuía, el motor ingresaba a un estado de descanso y se encendía en lapsos de 5 minutos, esto ocurre gracias al termostato insertado en la cámara de enfriamiento, es el encargado de enviar la variación de temperatura que ocurría en la cámara de enfriamiento y cada vez

que había un aumento de temperatura, mandaba la señal al motor para su encendido. Por lo que podemos decir que a medida que el tiempo pasa el trabajo del motor es menor ya que no necesita extraer calor de la cámara de enfriamiento a diferencia de los tiempo iniciales, ocurre lo mismo en el agua que fue tratada, a medida que el tiempo pasaba el sistema de burbujeo se volvía más eficiente ya que disminuía el calor a extraer del agua y como el burbujeo es constante no varía respecto al tiempo.

Figura 31: variación de la eficiencia de la maquina respecto al tiempo



Fuente: elaboración propia, 2018

### Calculo de la velocidad de cristalización

$$V = \frac{m}{s} \quad \rightarrow \quad V_{Cristalizacion} = \frac{V}{s}$$

$$V_{Cristalizacion} = \frac{0.003m^3}{4824s}$$

$$V_{Cristalizacion} = 62 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

Tabla 15: Temperatura media de las mínimas diarias (°C) – Registro histórico estación Marcapomacocha

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
1950													
1980	-1.3	-1.5	-1.7	-2.9	-4.8	-5.1	-4.6	-4.8	-4.0	-3.0	-2.4	-2.7	-3.2
1981	-1.7	-1.4	-1.0	-2.4	-4.1	-6.6	-7.4	-5.6	-4.2	-4.2	-1.9	-1.7	-3.5
1982	-1.8	-1.4	-4.1	-2.7	-4.9	-4.9	-6.5	-5.7	-3.3	-3.4	-2.0	-0.6	-3.4
1983	-0.9	-3.4	-3.0	-2.0	-3.6	-4.5	-5.9	-5.4	-4.8	-3.9	-4.1	-3.4	-3.7
1984	-3.3	-2.9	-2.2	-3.0	-3.9	-4.8	-6.6	-6.5	-7.1	-3.4	-3.8	-3.0	-4.2
1985	-3.2	-3.1	-2.7	-3.3	-3.5	-4.9	-7.6	-7.0	-5.0	-5.6	-5.8	-4.1	-4.7
1986	-2.9	-3.6	-2.5	-2.6	-6.1	-7.5	-8.2	-6.7	-6.8	1.8	-4.5	-3.9	-4.5
1987	-1.9	-2.6	-3.5	-3.4	-4.6	-3.7	-3.5	-3.3	-1.6	-1.0	0.9	0.2	-2.3
1988	0.8	1.3	1.2	1.1	-0.8	-3.8	-5.7	-4.8	-1.8	-1.0	-0.2	-0.3	-1.2
1989	0.3	0.2	0.2	0.3	-2.3	-2.4	-4.1	-3.1	-1.8	-0.2	-1.7	-0.8	-1.3
1990	0.7	-0.5	0.1	0.2	-1.1	-1.2	-2.2	-3.7	-2.0	-0.6	0.0	0.0	-0.9
1991	0.7	-0.3	2.3	0.7	-0.7	-3.0	-4.5	-4.5	-3.7	-2.5	0.0	0.1	-1.3
1992	0.3	-0.6	0.7	0.2	-1.8	-1.5	-4.8	-3.3	-2.7	-0.8	-1.0	-0.9	-1.4
1993	0.5	0.1	0.7	0.8	0.4	1.4	0.3	-1.6	-1.0	-0.1	1.1	1.4	0.3
1994	1.5	1.1	0.8	0.5	-0.8	-2.7	-4.0	-3.7	-0.9	-0.5	-0.8	-2.2	-1.0
1995	0.9	0.6	1.0	-0.2	-1.7	-2.4	-3.3	-3.3	-1.2	0.0	-0.1	-0.7	-0.9
1996	1.1	0.9	1.0	0.5	-0.6	-3.5	-4.3	-2.0	-1.8	-0.9	-1.0	0.2	-0.9
1997	0.5	0.0	-0.3	-0.4	-1.8	-4.3	-3.8	-2.2	-1.9	-0.4	0.7	2.0	-1.0
1998	2.0	2.8	2.3	2.0	-1.5	-0.9	-3.9	-1.5	-1.7	0.6	-0.2	0.8	0.1
1999	0.2	0.9	1.1	0.6	-0.5	-2.5	-3.0	-4.0	-0.9	-0.5	-0.9	0.8	-0.7
2000	0.7	0.9	0.6	0.9	-0.9	-2.7	-3.1	-4.4	-1.7	1.4	-2.5	-0.2	-0.9
2001	0.1	-2.8	1.1	-0.3	-1.5	-2.5	-3.0	-3.2	-0.3	0.3	1.0	0.5	-0.9
2002	0.5	1.3	1.2	0.8	-0.3	-2.1	-2.6	-2.7	-1.2	0.0	0.6	0.9	-0.3
2003	1.5	1.2	1.0	0.5	-0.2	-1.8	-3.3	-3.0	-2.3	-1.1	-2.2	1.5	-0.7
2004	-0.8	0.8	0.7	-1.1	-2.3	-3.4	-3.5	-3.4	-1.9	-0.5	-0.9	0.5	-1.3
2005	0.1	0.5	0.9	-0.1	-1.9	-4.4	-5.4	-5.3	-3.2	-1.8	-2.5	-0.5	-2.0
2006	-0.5	0.2	0.3	-0.9	-3.7	-3.1	-5.6	-3.3	-3.4	-1.6	-0.9	-0.5	-1.9
2007	0.6	-0.2	-0.3	-0.8	-2.4	-4.4	-5.8	-4.0	-2.3	-1.5	-0.5	-0.4	-1.8
2008	0.8	0.6	0.1	-0.2	-2.3	-2.9	-4.1	-3.0	-2.9	-0.9	-0.3	-0.4	-1.3
2009	0.5	1.2	0.6	0.5	-1.1	-2.6	-3.7	-2.9	-2.2	-0.7	0.6	1.3	-0.7
Nº Datos	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Promedio	-0.1	-0.5	-0.1	-0.5	-1.9	-3.2	-4.2	-3.7	-2.3	-1.4	-1.0	-0.5	-1.6
Desv.Est.	1.6	2.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.3	1.7	1.9	1.5	1.4	1.2
Máxima	2.8	3.9	2.3	2.0	0.7	1.4	0.3	-1.2	3.1	2.0	1.1	2.0	0.3
Mínima	-5.8	-10.6	-4.1	-3.5	-6.1	-7.5	-8.2	-7.0	-7.1	-8.3	-5.8	-4.1	-4.7

Fuente: Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales, 2010

Según la tabla de Temperatura media de las mínimas diarias, de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales, del año 2010 podemos verificar que se registra menor temperatura en los meses

julio agosto septiembre y octubre, fecha en la que las aguas de la zona llegan a congelarse, son meses en las que se podría ejecutar la experimentación con mayor eficiencia ya que el trabajo del prototipo sería menor y por ende el tiempo de congelamiento sería más acelerado y en menos tiempo.

#### 4.5 Prueba de Normalidad

##### Contraste de Hipótesis

En esta parte de la investigación se determina la distribución esta prueba nos indica que la variación de temperatura obtenidas en la experimentación, obedecen a una distribución normal, estos deben tener un P-valores mayores de 0.05, para valores estadísticos de Shapiro-Wilk ya que se tiene muestras pequeñas menores a 30 muestras. Adicionalmente los datos tienen un rango de confiabilidad de 95%.

##### Hipótesis específica 1

**H<sub>0</sub>:** Los resultados de la variación de la temperatura de las aguas del nevado Pachanqutu en Huarochirí, al ser aplicadas con la tecnología de micro burbujas de aire tienen una distribución normal.

**H<sub>1</sub>:** Los resultados de la variación de la temperatura de las aguas del nevado Pachanqutu en Huarochirí, al ser aplicadas con la tecnología de micro burbujas de aire **NO** tienen una distribución normal.

**Tabla 16: Pruebas de normalidad**

TRATAMIENTO		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ΔT°	T1- 4 HORAS	,204	3	.	,993	3	,843
	T2- 5 HORAS	,253	3	.	,964	3	,637
	T3- 6 HORAS	,253	3	.	,964	3	,637
	TF1- 7 HORAS	,276	3	.	,942	3	,537
	TF2- 8 HORAS	,253	3	.	,964	3	,637

Fuente: Procesamiento de datos en *IBM SPSS Statistics v.24, 2018*

El criterio utilizado para hacer la prueba de la hipótesis de esta investigación se hizo mediante:

- Si  $P\text{value} > \alpha=0.05$  La distribución es **Normal**
- Si  $P\text{value} < \alpha=0.05$  La distribución es **No Normal**

Por lo que aceptamos la hipótesis nula ya que el valor de p-value es mayor que el de significancia.

**H<sub>0</sub>:** Los resultados de la variación de la temperatura de las aguas del nevado Pachanqutu en Huarochirí, al ser aplicadas con la tecnología de micro burbujas de aire tienen una distribución normal.

Por lo cual podemos concluir que los datos de la investigación son **paramétricos**.

Luego de la prueba de normalidad y constatar que la experimentación tiene un comportamiento normal. Aplicamos la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene, para poder comprobar si existe una diferencia entre varianzas entre la variación de temperatura después del tratamiento y de este modo poder realizar una prueba ANOVA.

Tabla 17: Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0.971	2	2.035	0.506

Fuente: Tabla SPSS, elaboración propia, 2018.

**H<sub>0</sub>:** se constata que no existe diferencia entre las varianzas de la variación de temperatura.

La tabla nos indica que cumple el supuesto estadístico de la significancia es mayor que 0.05, lo que confirma **H<sub>0</sub>**, por lo que procedemos a utilizar la prueba de ANOVA. Para poder determinar la diferencia significativa de los grupos de experimentación que es la variación de temperatura respecto al tiempo.

## 4.6 Prueba de hipótesis

### Hipótesis general

**Ho:** Las micro-burbujas de aire NO producen el congelamiento del agua, incrementando las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí

**H1:** Las micro-burbujas de aire producen el congelamiento del agua, incrementando las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí

En esta investigación se tomaron tres repeticiones con tres tiempos distintos a las cuales se le añadió 2 tiempos teóricos mediante la aplicación de la fórmula, este último servirá para poder comprobar si la fórmula en efecto puede predecir la variación de la temperatura acorde a la experimentación y para hacer el contraste de la investigación que cuenta con más de dos muestras utilizaremos la prueba ANOVA.

Tabla 18: Prueba de hipótesis

ANOVA					
T°	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14,943	4	3,736	57,768	,000
Dentro de grupos	,647	10	,065		
Total	15,589	14			

Fuente: Procesamiento de datos en *IBM SPSS Statistics v.24, 2018*

EL criterio para hacer el contraste de la prueba de hipótesis se basó en:

- Si la prueba evaluada es  $> \alpha=0.05$ . se acepta la Hipótesis Nula
- Si la prueba evaluada es  $< \alpha=0.05$ . Se rechaza la Hipótesis Nula

Entonces como el resultado de la prueba es menor que el valor de significancia rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis del investigador.

Las micro-burbujas de aire producen el congelamiento del agua, incrementando las aguas solidas en el nevado Pachanqutu – Huarochirí



A pesar de que en el proceso de experimentación no se logró efectuar el congelamiento del agua estadísticamente nos indica de que si es posible efectuar el congelamiento con micro-burbujas de aire, por lo que podemos decir que el sistema estadístico al ser una herramienta de predicción nos da el resultado de que si es posible obtener hielo en esta.

Seguido de la prueba de ANOVA, se procede con las pruebas de Hoc de HSD de Tukey, para conocer si hay diferencia entre los tratamientos o grupos experimentales.

Tabla 19: Prueba de Hoc de HSD de Tukey

Prueba Tukey - Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: T°	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	4 Horas	5 Horas	1,10000*	,20763	,002	,4167	1,7833
		6 Horas	1,80000*	,20763	,000	1,1167	2,4833
		7 horas	2,43333*	,20763	,000	1,7500	3,1167
		8 Horas	2,80000*	,20763	,000	2,1167	3,4833
	5 Horas	4 Horas	-1,10000*	,20763	,002	-1,7833	-,4167
		6 Horas	,70000*	,20763	,044	,0167	1,3833
		7 horas	1,33333*	,20763	,001	,6500	2,0167
		8 Horas	1,70000*	,20763	,000	1,0167	2,3833
	6 Horas	4 Horas	-1,80000*	,20763	,000	-2,4833	-1,1167
		5 Horas	-,70000*	,20763	,044	-1,3833	-,0167
		7 horas	,63333	,20763	,073	-,0500	1,3167
		8 Horas	1,00000*	,20763	,005	,3167	1,6833
	7 horas	4 Horas	-2,43333*	,20763	,000	-3,1167	-1,7500
		5 Horas	-1,33333*	,20763	,001	-2,0167	-,6500
		6 Horas	-,63333	,20763	,073	-1,3167	,0500
		8 Horas	,36667	,20763	,441	-,3167	1,0500
	8 Horas	4 Horas	-2,80000*	,20763	,000	-3,4833	-2,1167
		5 Horas	-1,70000*	,20763	,000	-2,3833	-1,0167
		6 Horas	-1,00000*	,20763	,005	-1,6833	-,3167
		7 horas	-,36667	,20763	,441	-1,0500	,3167

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Procesamiento de datos en *IBM SPSS Statistics v.24, 2018*

En la tabla de la prueba de Tukey podemos observar la diferencias significativas en casi todos los tratamiento realizados (T1=4 horas, T2=5 horas, T3=6horas, TF1= 7 horas y TF2= 8 horas), ya que presentan un P-value menor a 0.05, lo que podemos deducir que hubo variación de temperatura en un tiempo respecto a otro.

Por lo que podemos concluir a través del análisis estadístico que el tratamiento efectuado si reduce la temperatura a medida que el tiempo transcurre ya que hay diferencia de un tratamiento con respecto a otro tratamiento.

#### IV. DISCUSIÓN:

Las Aguas del nevado pachanqutu que fueron sometidas a un micro-burbujeo, en diferentes tiempos ( $T_1= 4$  horas,  $T_2= 5$  horas,  $T_3= 6$  horas). Obtuvieron resultados favorables en cuanto a la variación de la temperatura, en la que se mantuvo constante el flujo de aire con un caudal de  $0.32 \text{ m}^3/\text{h}$ , presión constante de  $45 \text{ PSI}$ , temperatura del sistema de refrigeración de  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Y una temperatura de salida del micro-difusor de  $2.8^\circ\text{C}$ , esto comprueba que se tiene la certeza de que se puede implementar tecnologías para complementar y acelerar la producción de glaciares en los andes peruanos, y que no está lejos de ser realidad el poder implementar tecnologías similares para poder amortiguar el problema glaciar que está latente, mediante la creación de instrumentos de ingeniería como logro demostrar las microburbujas y las leyes que rigen la naturaleza.

Se comprobó mediante la física usando la ecuación de Planck, el tiempo total de congelación del agua de  $1.34$  horas aproximadamente, para llegar a congelar el agua en su totalidad, tomando como temperatura inicial  $0^\circ\text{C}$ . Adicional a ello se aplicó la ecuación de la ley de enfriamiento de Newton, para calcular el tiempo que tardaría en enfriarse el agua hasta llegar al punto de congelación de  $0^\circ\text{C}$ , llegando a obtener un tiempo estimado de  $4$  horas con  $47$  minutos. Para poder hacer un contraste de la información se aplicó el Software Plank's 1.0 v, lo cual nos dio un tiempo aproximado de  $3.56$  horas, obteniendo una diferencia de una hora a las adquiridas por la fórmula de Newton, esta diferencia se debe a que el software tomó como temperatura del difusor a  $2.8^\circ\text{C}$ .

Según lo mencionado líneas arriba FLORES (2018), señala en su tesis que el tiempo de congelación y la conductividad térmica, está directamente ligado al coeficiente de transferencia térmica superficial, a la capacidad del sistema frigorífico utilizado, al tipo de producto a congelar, y la condición de temperatura, (a más baja temperatura mayor fracción de hielo por kilogramo de agua se producirá). En el proceso de enfriamiento del agua del nevado Pachanqutu, se pudo verificar que a más baja temperatura menor será el tiempo

de enfriamiento y mayor sera la disminucion de temperatura en el cuerpo de agua y el tipo de sistema frigorifico (potencia frigorifica del sistema) es quien influye directamente en el enfriamiento por lo que se concuerda con lo mencionado por Flores.

HUERTA (2016), coincide que para obtener resultados mas eficientes de la maquina, el producto debe estar ya sometido a un preenfriamiento entre los 5°C y los 0°C, y luego ser colocados a la camara frigorifica o tunel de congelamiento, para asi reducir el tiempo de congelacion de los productos y asi otorgar menor trabajo de enfriamiento al sistema de congelacion para de este modo tener menos consumo energetico, lo que en la industria no es factible ya que hay perdida de energida y costos de produccion. Para la presente investigacion ocurre el mismo problema ya que el sistema demoraria 8 horas para llegar a enfriar el agua de una temperatura de 24°C hasta su punto de congelacion y otras 1.39 horas para llegar a congelar el agua, por lo que el gasto energetico y el tiempo seria mayor y se pudo corroborar al efectuar el análisis de eficiencia ya que a medida que transcurria el tiempo mayor era la eficiencia del sistema. A las 4 horas disminuido a los 6°C y su eficiencia era del 70%, llegado a las 6 horas la temperatura había disminuido a los 5°C y su eficiencia había aumentado en 75% presentando un aumento de eficiencia lineal.

## V. CONCLUSIONES:

- Las aguas procedentes de los glaciares del nevado Pachanqutu – Huarochirí, luego de ser sometidas al tratamiento de micro burbujas, en los diferentes tiempos 4 horas, 5 horas y 6 horas, no produjeron la cristalización del agua. se mantuvo constante el flujo de aire con un caudal de 0.32 m<sup>3</sup>/h, presión constante de 45 PSI, temperatura del sistema de refrigeración de – 18 °C aproximado. Y una temperatura de salida del micro-difusor de 2.8°C.
- A pesar de no producirse la cristalización del agua se observó una variación en la temperatura de las aguas de deshielos en comparación con el agua que no era tratada Se comprobó mediante la física usando la ecuación de Planck, el tiempo total de congelamiento del agua, estimando un tiempo total de congelamiento de 1.39 horas aproximadamente para el congelamiento del agua en su totalidad, tomando como temperatura inicial 0°C, y el tiempo de enfriamiento es de 4 horas aproximado, el cual fue adquirido ingresando los datos obtenidos en la experimentación en el modelo matemático de la ley de congelamiento de los cuerpos de Newton y se contrasta el resultado en el Software Plank's 1.0 v que obtuvo el dato de 3.46 horas, por lo que las micro-burbujas pueden transferir calor al sistema o pueden extraer calor de los mismos, y podría ser una buena técnica para el congelamiento de las aguas del nevado Pachanqutu – Huarochirí ..
- Mientras mas tiempo de burbujeo mas eficiente es el proceso de enfriamiento ya que a las 4 horas la temperatura había disminuido hasta los 6°C y su eficiencia era del 70%, a las 6 horas la temperatura había disminuido a los 5°C y su eficiencia había aumentado en 75%, esto se debe a que el sistema debia eliminar menos calor a medida que pasa el tiempo por lo que el trabajo de la maquina frigorifica era menor.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Aumentar la capacidad del sistema de refrigeración, para que el flujo de aire caliente, gane más frío en el sistema de refrigeración y así tener más disponibilidad de aire frío, ya que a mayor tiempo de estadía del aire en la cámara de refrigeración mayor frío adquirirá.
- Hacer el estudio con burbujas normales y nano-burbujas para saber si hay diferencia en la transferencia de temperatura y cuál es el más eficiente.
- Estudiar otros sistemas de enfriamiento y aireación ya que el usado en esta investigación únicamente se hizo con materiales domésticos como es la modificación de una refrigeradora convencional para el sistema de enfriamiento.
- Hacer el estudio tomando en cuenta los factores climatológicos, ya que se predice que esto afecta directamente en el proceso de congelación del agua, así como la humedad, dirección del viento, temperatura media del lugar entre otros, así mismo se sabe que las temperaturas en las alturas varían dependiendo de la hora, sería propicio aplicar el estudio en donde las temperaturas del nevado disminuyen por debajo de los 0 grados, se obtendría mejores resultados y el tiempo de congelación sería menor.

## VII. REFERENCIAS

- ACNITI. Different Bubbles sizes and why it matters to the properties [En línea]. Japon: 2017. [Consulta 26-06-2018].

Disponible en: <https://www.acniti.com/es/tecnología/que-son-burbujas/>

- BARBOSA, Juan, GUTIÉRREZ, Claudia, JIMÉNEZ, José. 2015. Termodinámica para ingenieros. México: Grupo Editorial Patria, 2015. 448pp. ISBM / 978-607-744-270-7.

- BELTRAN, Cinda y JACINTO, Napoleón. Aplicación de micro burbujas en la flotación de lodos de tratamiento de aguas ácidas de mina. Parte II: Flotación [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2018]. Disponible en: [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rmuto/n32/n32\\_a03.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rmuto/n32/n32_a03.pdf)

- CASTAÑEDA, Rocio. Cambio en los Puntos de Fusión y de Ebullición del Agua Debido a una Variación en la Presión. [en línea]. Mexico: Oficina de Enlace de la Subsecretaría de Educación Media Superior, 2016 [fecha de consulta: 13 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12179/8/images/cambios-fusion-ebullicion-agua.pdf>

- CCALLO, Fredy. Congelación y refrigeración de filetes de trucha arco iris (*Oncorhynchus mikkys*) envasado al vacío. Tesis (Título de Ingeniero Agroindustrial). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2009.

Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3346/Ccallo\\_Maquera\\_Fredy.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3346/Ccallo_Maquera_Fredy.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

- CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2018. Ley N° 30754, Ley Marco Sobre Cambio Climatico. Peru.  
Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/62377>
- Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac. ANA. Diciembre de 2010. Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/5>
- FERNANDEZ, Sergio. Análisis de engelamiento y nevadas en la Península Ibérica mediante modelos numéricos. Tesis (Grado de Doctor). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2017.  
Disponible en: <http://eprints.ucm.es/41987/1/T38596.pdf>
- FLORES; Evaluacion de la conductividad térmica y el tiempo de congelamiento, en bloques congelados de trucha arco iris (*oncorhynchus mykiss*), en función al tipo de producto y al sistema de congelamiento. Tesis (Bachiller en ciencias biológicas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa, 2018.  
Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5113/IPflma me.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- GAGO, Sindy y ROMÁN River. Estudio termodinámico de la temperatura de congelación de mezclas refrigerantes etanol – agua y propilenglicol – agua. Tesis (Ingeniero químico). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.  
Disponible en: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3769/Gago %20Alberto-Roman%20Chambergo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3769/Gago%20Alberto-Roman%20Chambergo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- GARRITZ, Gasque. Manifestaciones de la materia. Energia termoquímica y espontaneidad. [En línea]. 2005 [Fecha de



consulta: 26 de junio de 2018].

Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Garritz-Gasque-MartinezCapitulo8\\_25230.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Garritz-Gasque-MartinezCapitulo8_25230.pdf)

- HUERTA, Josue A. Diseño de un sistema de fabricación de hielo bajo demanda. Tesis (Maestro en Ingeniería). México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.

Disponible en:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11352/tesis.pdf?sequence=1>

- HURTADO, Carmen J.; Optimización del proceso de congelación de tilapia (*Oreochromis aureus*) en bloques e IQF para lograr una máxima calidad. Tesis (Título de Ingeniero Pesquero). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2014.

Disponible en:  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2933/IPhuma022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- IPCC, INFORME ESPECIAL: CALENTAMIENTO GLOBAL DE 1.5 °C [en línea]. Suiza: IPCC, 2018 [fecha de consulta: 03 de diciembre de 2018]. Capítulo 1. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-1/>

- KEETON INDUSTRIES. (s.f.) Aeration Technology [En línea] [Fecha de consulta: 26 de junio de 2018].

Disponible en: <https://keetonaquatics.com/aeration-technology/>

- MATURANA, Julio A.; Análisis del retroceso glaciar y su influencia en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del río Olivares, provincia Cordillera, Chile. Tesis (Título de ingeniero

civil). Santiago: Universidad de Chile, 2015.

Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/135360>

- MULLER, Erich A. Termodinamica Basica. 2.a ed. Consultora Kemiteknik C.A., 2002. 315 pp. ISBN 980-07-8224-9
- NSI INC. s.f. Nano 1 System. Mirco/Nano Bubble? [En línea] [Fecha de consulta: 26 de junio de 2018].

Disponible en: <http://www.nano1.co.jp/en/nano1/bubbles.html>

- ORTIZ, Arnulfo. Formación y evolución de burbujas en líquidos viscosos. Tesis (Doctor en Ingeniería). México: Universidad Nacional de México, 2009.

Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3477/ortizgomez.pdf?sequence=1>

- Proponen pintar cima de nevados de blanco para evitar deshielo [en línea].RPP Noticias. 05 de noviembre del 2009. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2018]. Disponible en: <https://rpp.pe/peru/actualidad/proponen-pintar-cima-de-nevados-de-blanco-para-evitar-deshielo-noticia-220477>

- RAMÍREZ, Emilio y LEÓN, Manuel. Predicción de tiempos de congelación y descongelación de alimentos [en línea]. agro-alimentarias.coop. [Fecha de consulta: 26.06.2018].

Disponible en: <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/01292.pdf>

- SECRETARIA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO

AMBIENTE y AGENCIAS ESPAÑOLA DE COOPERACION INTERNACIONAL. 2007. ¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina. Lima: Libélula Comunicación, Ambiente y Desarrollo S.A.C., 2007. ISBN 978-9972-787-28-7.

- SJOGREEN, Carlos A. et al. 2008. Experimental study of nanobubbles in salt solutions. [En línea] Colombia : s.n., Fecha de consulta: 26 de junio de 2018].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v42n162/0370-3908-racefn-42-162-00041.pdf>

- TELLEZ, Eric B. 2010. Transiciones de fase, una propuesta didáctica. [En línea]. marzo-octubre 2010. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2018].

Disponible en:

<https://pdfs.semanticscholar.org/ea89/04db8286f7f9a5d2d6219840660c4942fbe9.pdf>

- UNIDAD DE GLACIOLOGIA Y RECURSOS HIDRICOS. 2014. Inventario de glaciares del Peru. 2da actualización. Huaraz: [En línea]

Disponible en: <http://www.ana.gob.pe/media/981508/glaciares.pdf>

- VALENZUELA, Gerson E.; Análisis del crecimiento anisotrópico de cristales de hielo mediante simulación computacional. Tesis (Doctor en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Ingeniería Química). Concepción: Universidad de Concepcion, 2014.

Disponible en:

[http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/1789/Tesis\\_Analisis\\_del\\_crecimiento\\_Anisotropico\\_de\\_cristales\\_de\\_hielo.Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/1789/Tesis_Analisis_del_crecimiento_Anisotropico_de_cristales_de_hielo.Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- VALDES, Constanza M.y ROZAS, Cynthia B. Fabricacion de hielo y análisis de ciclos de refrigeración por compresión de vapor. Tesis (Título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica). Chile: Universidad del Bio-Bio, 2014.

Disponible en:  
[http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1461/1/Rozas\\_Roa\\_Cynthia\\_Belen.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1461/1/Rozas_Roa_Cynthia_Belen.pdf)

- VAXA SOFTWARE. s.f. Conductividad térmica [En línea] [Fecha de consulta: 26 de junio de 2018].

Disponible en:  
[http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/fis/condutermica.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/condutermica.pdf)

- YAP, Aderly A.; Analisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la cordillera blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs. Tesis (Título de Licenciado en Geografía y Medio Ambiente). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7268>

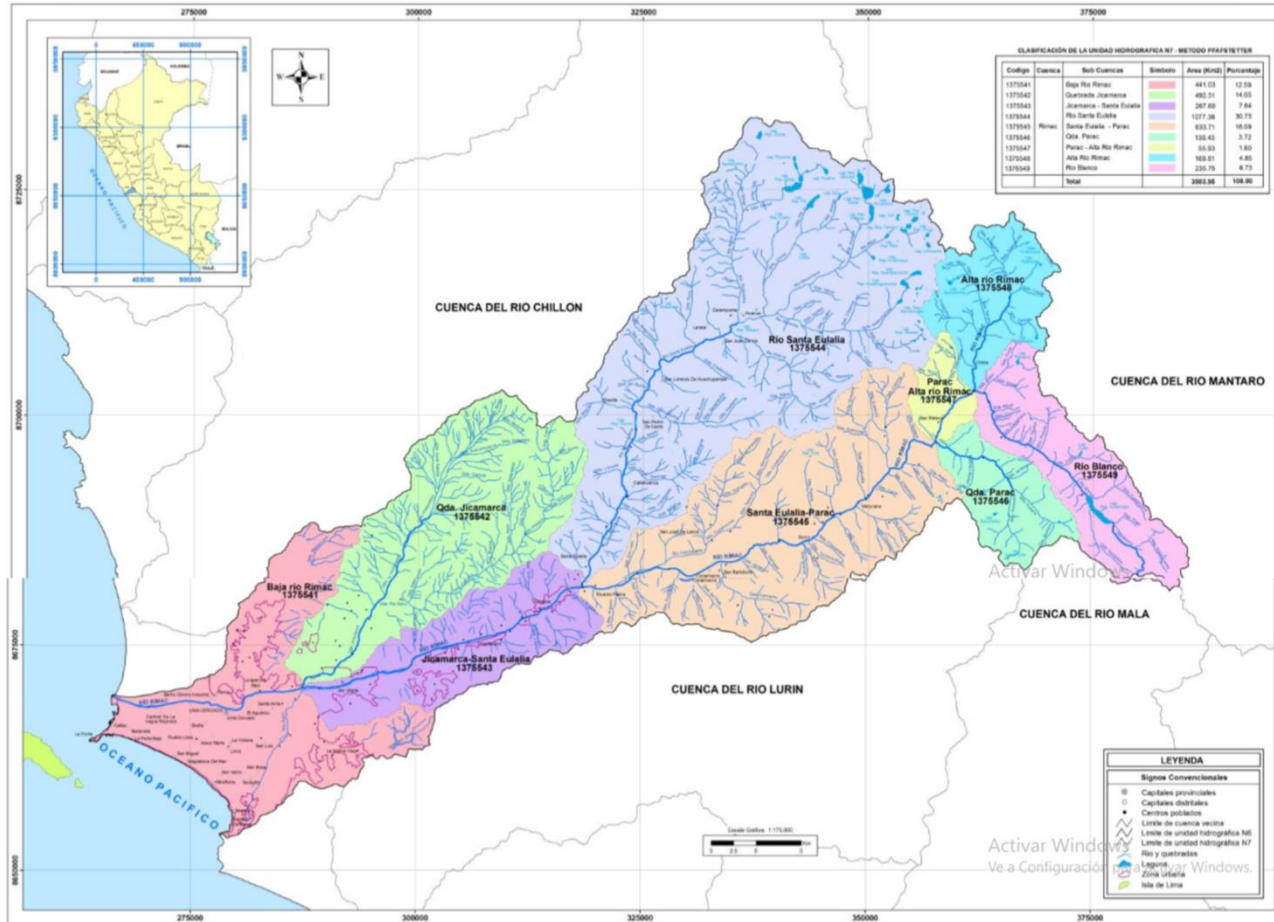
- ZEGARRA, Diego A.; Diseño de un productor de hielo fluido de 14 kg/h. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010.

Disponible en:  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1516/ZEGARRA\\_REVEGGINO\\_DIEGO\\_HIELO\\_FLUIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1516/ZEGARRA_REVEGGINO_DIEGO_HIELO_FLUIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **VIII. Anexo**

## Anexo N°1

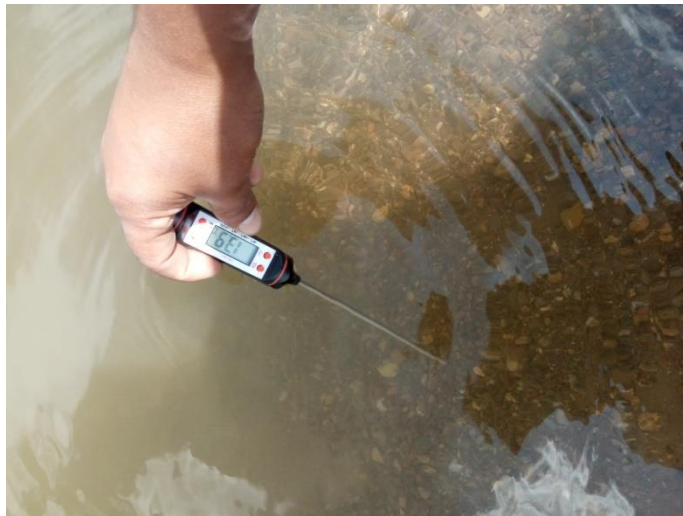
### MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO EN EL NEVADO DE PACHANQUTU



Fuente: Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac, 2010

## Anexo N°2

### FOTOGRAFIAS



Fuente: Elaboración propia, 2018

**Figura: recolección de muestras y datos in situ**



Fuente: Elaboración propia, 2018

**Figura: ensamblaje y diseño de prototipo de generador de microburbujas**





Fuente: Elaboración propia, 2018

**Figura: aplicación del prototipo en la zona de estudio**



Fuente: Elaboración propia, 2018

**Figura: aplicación del prototipo en la zona de estudio**

### Anexo N°3

## DOCUMENTACION

Tabla 20: Operacionalizacion de Variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDIDA
CRISTALIZACION DE AGUAS DE DESHIELO POR MICRONANOBURBUJAS DE AIRE	Las moléculas de agua a presiones atmosféricas se estructuran de manera tetraédrica, gracias a un tipo de enlace muy especial que son las del puente de hidrógeno. Estos puentes de hidrogeno a medida que pierden energía cinética debido a la perdida de calor produce en el agua un cambio de fase a una cristalina o de hielo CASTAÑEDA (2016),	transferencia de energia por microburbujaeo en el agua para la reduccion de su teperatura en el agua	TRANFERENCIA DE TEMPERATURA CON MICROBURBUJAS	VOLUMEN	m <sup>3</sup>
				PRESION	PSI
				TEMPERATURA	C°
				TRATAMIENTO	hora
AUMENTO DE AGUAS SOLIDAS	Un glaciar es una masa de hielo producto de la compactacion del agua sólida como la nieve, granizo o escarcha que se acumulan en las cordilleras o nevados por largo tiempo, según la Unidad de Glaciología y Recurso Hídrico del Perú, (2014)	se realizara la observacion y medicion de los parametros fisico-quimicos del agua y su influencia en el congelamiento, asi como el descenso de las temperaturas y el tiempo de congelamiento.	CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL AGUA DEL NEVADO	TURBIDEZ	NTU
				TEMPERATURA	C°
				DENSIDAD	Kg/m <sup>3</sup>
				SOLIDOS EN SUSPENSION	ppm
				CONDUCTIVIDAD	s/cm
				OD	(mg O <sub>2</sub> /l)
				DUREZA TOTAL	mg/l
			pH	(H <sup>+</sup> )	
			CARACTERISTICAS DEL HIELO GENERADA	VOLUMEN	m <sup>3</sup>
				RESISTENCIA	Kg/cm <sup>2</sup>
				GROSOR	mm
				TIPO DE HIELO	
				TEMPERATURA	C°
VOLUMEN	m <sup>3</sup>				
DENSIDAD	kg/m <sup>3</sup>				

Fuente: Elaboración propia, 2018



**INFORME DE OPINION DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN**

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador Dr. / Mg..... Gaudencio Laureano Valentin.....
- 1.2. Cargo e institución donde labora:..... Docente UCV.....
- 1.3. Especialidad del validador:..... Geólogo.....
- 1.4. Nombre del instrumento..... Fichas Técnica.....
- 1.5. Título de la Investigación..... Asesoría de... Seminario de... de aguas de desecho... micróbucayas.....
- 1.6. Autor del instrumento..... Heena Valle Toal.....

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												/	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												/	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												/	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												/	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												/	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												/	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												/	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												/	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												/	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												/	
PROMEDIO DE VALIDACIÓN														95

**PERTINENCIA DE LOS ITEMS O RECATIVOS DEL INSTRUMENTO**

INSTRUMENTO	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
<u>Volumen optimo de rango</u>	X		
<u>Características físicas - quím.</u>	X		
<u>Datos metodológicos, etc.</u>	X		

- III. PROMEDIO DE VALORACIÓN... 95...
- IV. OPINION DE APLICABILIDAD
- (✓) El instrumento puede ser aplicada tal como está elaborado
- ( ) El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado

Lugar y Fecha: Lima, 08 de Junio de

Firma del experto informante

DNI N° 07655092

Teléfono \_\_\_\_\_



## INFORME DE OPINION DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

## I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador Dr. / Mg... ACOSTA SUASUABAR JENSTERIO HORACIO  
 1.2. Cargo e institución donde labora:..... DOCENTE - UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
 1.3. Especialidad del validador..... INGENIERIA QUIMICA AMBIENTAL  
 1.4. Nombre del instrumento..... ETAPAS TECNICAS  
 1.5. Título de la Investigación..... ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS DE DESHUELO  
 1.6. Autor del instrumento..... MELISSA NADE JOSE

## II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		
PROMEDIO DE VALIDACIÓN												85		

## PERTINENCIA DE LOS ITEMS O RECATIVOS DEL INSTRUMENTO

INSTRUMENTO	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
<u>Valoración optima</u>	X		
<u>Características Físico</u>	X		
<u>Datos meteorológicos</u>	X		

III. PROMEDIO DE VALORACIÓN... 85... IV. OPINION DE APLICABILIDAD

- (  ) El instrumento puede ser aplicada tal como está elaborado  
 ( ) El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado

Lugar y Fecha: LIMA, 08 DE JUNIO DE 2018

Firma del experto informante

DNI. N° 08306575Teléfono 93442836



## INFORME DE OPINION DE EXPERTOS DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

## I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres del validador Dr. / Mg. Quijano Pacheco, Wilmer  
 1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UCV  
 1.3. Especialidad del validador: RECURSOS NATURALES  
 1.4. Nombre del instrumento: FICHA TECNICA  
 1.5. Título de la Investigación: Aceleración de cristalización de aguas de deshielo  
 1.6. Autor del instrumento: LIEBANA VALLE JOEL

## II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													✓
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos													✓
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													✓
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													✓
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													✓
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													✓
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													✓
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													✓
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													✓
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													✓
PROMEDIO DE VALIDACIÓN														90

## PERTINENCIA DE LOS ITEMS O RECATIVOS DEL INSTRUMENTO


INSTRUMENTO	SUFICIENTE	MEDIANAMENTE SUFICIENTE	INSUFICIENTE
<u>Volumen optima</u>	X		
<u>características físico-quím</u>	X		
<u>datos metodológicos</u>	X		

- III. PROMEDIO DE VALORACIÓN... 90 IV. OPINION DE APLICABILIDAD  
 (✓) El instrumento puede ser aplicada tal como está elaborado  
 ( ) El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado


Lugar y Fecha: Lima, 08 de Junio del 2018

Firma del experto informante


DNI. N° 06082600Teléfono 966648428

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL																	
Procedencia:	Departamento : LIMA Latitud : 12° 7' 0"	Provincia : YAUYOS Longitud : 76° 1' 0"	Distrito : TANTA Altitud : 4323																
Responsable:	Estación : TANTA , Tipo Convencional - Meteorológica																		
DATOS METEOROLOGICOS																			
Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)		Temperatura Bulbo Húmedo (°c)	Precipitación (mm)	Dirección del viento	Velocidad del viento	Presión										
										puntos cardinales	m/s	atm							
			7	13	19	7	13	19	7	19									


Firma:   
 Escuela de Ingeniería Ambiental  
 CIP N° 25450

Firma:   
 Willy de Burgos P  
 CIP 90140

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora de inicio: \_\_\_\_\_ Hora de fin: \_\_\_\_\_ Observaciones: \_\_\_\_\_

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL																		
		Departamento : LIMA Latitud : 12° 7' 0"	Provincia : YAUYOS Longitud : 75° 1' 0"	Distrito : TANTA Altitud : 4323	Estación : TANTA , Tipo Convencional - Meteorológica															
Responsable:																				
DATOS METEOROLOGICOS																				
Día/mes/año	Temperatura Max (°C)	Temperatura Min (°C)	Temperatura Bulbo Seco (°C)	Temperatura Bulbo Húmedo (°C)	Precipitación (mm)	Dirección del viento	Velocidad del viento	Presión												
			7°	13°	19	7	13°	19	7	19	puntos cardinales	m/s	atm							

Fecha: \_\_\_\_\_  
 Hora de inicio: \_\_\_\_\_  
 Hora de fin: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

  
 CIP 121554  
 Gaudencio Laureano Valentim



Procedencia: Localidad: Norte Sur

Coordenadas UTM WGS84: Sur

RESPONSABLE: \_\_\_\_\_

CARACTERISTICAS DEL AGUA DEL NEVADO

N° DE POZO	MUESTREO		TURBIDEZ NTU	TEMPERATURA °C	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	SOLIDOS EN SUSPENSION ppm	CONDUCTIVIDAD AD (micro/cm)	DRO (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	OD (mg O <sub>2</sub> /l)	DUREZA TOTAL mg/l	pH (H <sup>+</sup> )	CALOR A EXTRAE POR M <sup>3</sup> /K <sup>o</sup> C
	SEMANA	HORA											
	IN SITU												
AGUA DE DESHIELO	POZO 01												
	POZO 02												
	POZO 03												
	POZO 04												
	POZO 05												
	POZO 06												
	POZO 07												
	POZO 08												
	POZO 09												

Inspector responsable: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Material enviado: \_\_\_\_\_

Recibido por laboratorio: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ Material recibido: \_\_\_\_\_

Total de muestras recibidas: \_\_\_\_\_

*Handwritten signature*

CIP 1215 54

Galdencio Mercedes Valentin



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Procedencia:

Localidad:

Coordenadas UTM WGS84:

Nombre

Sur

Responsable:

CARACTERISTICAS DEL AGUA DEL NEVADO  
IN SITU

N° DE POZO	MUESTREO		TURBIDEZ NTU	TEMPERATURA °C	DENSIDAD kg/m³	SOLIDOS EN SUSPENSION ppm	CONDUCTIVIDAD AD (mmh/cm)	DBO (mg O <sub>2</sub> /l)	DQO (mg O <sub>2</sub> /l)	OD (mg O <sub>2</sub> /l)	DUREZA TOTAL mg/l	PH (M)	CALORÍA EXTRAER POR M3 J/kg°C
	SEMANA	HORA											
AGUA DE DESHIELO	POZO 01												
	POZO 02												
	POZO 03												
	POZO 04												
	POZO 05												
	POZO 06												
	POZO 07												
	POZO 08												
	POZO 09												

Respecto responsable:

Fecha:

Hora:

Material enviado:

Recibido por laboratorio:

Fecha:

Hora:

Material recepcionado:

Total de muestras recibidas:

  
 EURIBIA RIQUELME  
 CIP N° 25450

  
 Wilmar Augusto P.  
 CIP 90140

Procedencia:		Localidad:		Coordenadas UTM WGS84:		Tratamiento		Porcentaje en volumen de nanodibujas		CUIDAR A EXTRAER POR		OBSERVACIONES
		Norte	Sur			% de volumen A	% de volumen B	% de volumen C	Total	Media	J/KgC	
MUESTRAS DE AGUA DEL NEVADO												
MUESTREO												
POZOS		Item	Semana		Hora		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	J/KgC
GRUPO 1		POZO Nº 1										
GRUPO 2		POZO Nº 2										
GRUPO 3		POZO Nº 3										
		POZO Nº 4										
		POZO Nº 5										
		POZO Nº 6										
		POZO Nº 7										
		POZO Nº 8										
		POZO Nº 9										
TOTAL												
MEDIA												

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora de inicio: \_\_\_\_\_ Hora de fin: \_\_\_\_\_ Observaciones: \_\_\_\_\_

*[Signature]*  
CIP 121534  
Gaudencio Lavercano Valentin

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VOLUMEN OPTIMO DE LAS MANOBURBUJAS

Procedencia: Localidad: Norte Sur

Coordenadas UTM WGS84:

Responsable: MUESTROS DE AGUA DEL NEVADO

POZOS	item	MUESTREO		tratamiento			CALOR A EXTRAER POR m <sup>3</sup>	OBSERVACIONES	
		Semana	Hora	Porcentaje en volumen de manoburbujas					
				% de volumen A	% de volumen B	% de volumen C			
				Total	Media				
	Nº 1			m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	J/KgC°	
	Nº 2								
	Nº 3								
	Nº 4								
	Nº 5								
	Nº 6								
	Nº 7								
	Nº 8								
	Nº 9								
TOTAL									
MEDIA									

Fecha: Hora de inicio: Hora de fin: Observaciones:

*Wilsen Quijano*  
Wilsen Quijano  
90140

*Eulises Acosta Juarez*  
Eulises Acosta Juarez  
CIP N° 28950



MUESTRA: AGUA DE LA LAGUNA PACHANQUTU

TESISTA:

- JOEL LLERENA VALLE

PARÁMETROS REALIZADOS:

- PH
- Solidos suspendidos totales
- Turbiedad
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto

TESIS: "Velocidad de cristalización de aguas de glaciación utilizando micro-burbujas de aire para el incremento de las reservas de agua sólida en el nevado pachanqutu-huarochiri"

**RESULTADO DE ANÁLISIS DE LA MUESTRA**

MEDICION DE LA TURBIEDAD EN NTU					MEDICION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SST				
N° de la muestra	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	Promedio en NTU	N° de la muestra	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	mg/L
Muestra 1	20.2	19.6	20	19.93333333	Muestra 1	120	110	100	110
Muestra 2	20.9	20.9	19.85	20.55	Muestra 2	0	120	100	73.33333333
Muestra 3	24	24.81	24.01	24.27333333	Muestra 3	100	100	120	106.6666667
Muestra 4	24	24.1	24	24.03333333	Muestra 4	160	140	160	153.3333333
Muestra 5	22	21.98	21	21.66	Muestra 5	60	70	70	66.66666667
Muestra 6	23.63	23	24	23.54333333	Muestra 6	80	80	80	80

MEDICION DEL OXIGENO DISUELTO OD				
N° de la muestra	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	mg/L
Muestra 1	6.09	6	6.78	6.29
Muestra 2	6.39	6.4	6.4	6.396666667
Muestra 3	5.83	5.83	5.85	5.836666667
Muestra 4	5.97	6.01	5.89	5.956666667
Muestra 5	6.83	6.89	6.71	6.81
Muestra 6	6.77	6.8	6.75	6.773333333

MEDICION DEL pH	
N° de la muestra	unidad pH
Muestra 1	7.92
Muestra 2	7.93
Muestra 3	8.03
Muestra 4	7.98
Muestra 5	8.01
Muestra 6	7.89

MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE)				
N° de la muestra	REPETICION 1	REPETICION 2	REPETICION 3	µS/cm
Muestra 1	137.5	137	137.9	137.4666667
Muestra 2	137.5	137.5	138	137.6666667
Muestra 3	137.7	137.5	137.5	137.5666667
Muestra 4	138.5	138.1	138.5	138.3666667
Muestra 5	137.7	137.4	137.5	137.5333333
Muestra 6	138	138	138	138

Lima, 19 de noviembre del 2019  
Amelia Mudarra Pascual  
Ingeniera Química



**ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

Código : F06-PP-PR-02.02  
Versión : 09  
Fecha : 11-12-2018  
Página : 1 de 2

Yo, Jave Nakayo Jorge Leonardo, docente de la Facultad de Ingeniería y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Sede Lima Norte, revisor de la tesis titulada:

**“VELOCIDAD DE CRISTALIZACION DE AGUAS DE GLACIAR UTILIZANDO MICRO-BURBUJAS DE AIRE PARA EL INCREMENTO DE LAS RESERVAS DE AGUA SOLIDA EN EL NEVADO PACHANQUTU-HUAROCHIRI”** del estudiante **Joel Llerena Valle**, constató que la investigación tiene un índice de similitud de 17 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.



Los Olivos, 04 de diciembre de 2018

Dr. Jave Nakayo Jorge Leonardo  
DNI: 01066653

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

“VELOCIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE AGUAS DE GLACIAR UTILIZANDO MICRO-BURBUJAS DE AIRE PARA EL INCREMENTO DE LAS RESERVAS DE AGUA SÓLIDA EN EL NEVADO PACHANQU-TU-HUAROCHE”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:  
LLERENA VALLE JOEL

ASESOR:  
DR. JAVIER NAKAYO JORGELLONARDO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:  
Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA - PERÚ  
2018



**Resumen de coincidencias**

17 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver fuentes en inglés (Beta)

Coincidencias

1	Entregado a Universida...	6 %
2	repositorio.ucv.edu.pe	2 %
3	repositorio.unsa.edu.pe	1 %
4	Entregado a Universida...	1 %
5	www.revistaaboliviana...	<1 %
6	help.solidworks.com	<1 %
7	Entregado a Universitel...	<1 %

Activar Windows

Text-only Report High Resolution Activado

Página: 1 de 86 Número de palabras: 14191

91



**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS  
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02  
Versión : 07  
Fecha : 23-03-2018  
Página : 1 de 1

Yo **Joel Llerena Valle**, identificado con DNI N° **48095680**, egresado de la Escuela Profesional de **Ingeniería Ambiental** de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo ( ) la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado **"VELOCIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE AGUAS DE GLACIAR UTILIZANDO MICRO-BURBUJAS DE AIRE PARA EL INCREMENTO DE LAS RESERVAS DE AGUA SOLIDA EN EL NEVADO PACHANQUTU-HUAROCHIRI"**; en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....  
.....  
.....  
.....



*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

FIRMA

DNI: 48095680...

FECHA: Los Olivos ..... de ..... 2018

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------





# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

## AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE  
LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:  
**LLERENA VALLE JOEL**

INFORME TÍTULADO:

**“VELOCIDAD DE CRISTALIZACIÓN DE AGUAS DE GLACIAR  
UTILIZANDO MICRO-BURBUJAS DE AIRE PARA EL INCREMENTO DE  
LAS RESERVAS DE AGUA SOLIDA EN EL NEVADO PACHANQUTU-  
HUAROCHIRI”**

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

INGENIERA AMBIENTAL

SUSTENTADO EN FECHA: 11 /12 /2018

NOTA O MENCIÓN: 18

  
FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Elmer Benites Alfaro

NRO...20-19/II