



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**UNA ALTERNATIVA DE DESALINIZACIÓN DE AGUA  
SUBTERRANEA SALADA, CONSTRUYENDO UN DESTILADOR  
SOLAR PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA APTA PARA  
CONSUMO HUMANO – DISTRITO TARACO, 2022**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**FIGURELLA MAMANI CALLATA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO - PERU**

**2024**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**UNA ALTERNATIVA DE DESALINIZACIÓN DE AGUA SUBTERRANEA SALADA, CONSTRUYENDO UN DESTILADOR SOLAR PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA APTA PARA CONSUMO HUMANO - DISTRITO TARAHO, 2022.pdf**

AUTOR

**FIGUEROA MAMANI CALLATA**

RECuento DE PALABRAS

**25328 Words**

RECuento DE CARACTERES

**136158 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**133 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Dec 27, 2023 1:47 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Dec 27, 2023 1:49 PM GMT-5**

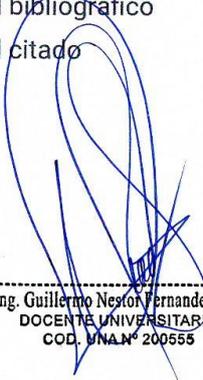
● **12% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 6% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
-----  
Ing. Guillermo Nestor Fernandez Sila  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 200555

  
-----  
Ing. Emilio Castillo Aroni  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 920514

Resumen



## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres Leoncio y Adriana por darme todo su apoyo y motivación para lograr con mis propósitos.

A mi pareja AJMC por ser parte de mi vida, por todo su amor, cariño y comprensión en todo momento, por ser el principal apoyo inquebrantable.

A mi hijo Gustavo Matthew por ser mi fuente de inspiración y motivación para poder lograr con todos mis propósitos.

*Fiorella Mamani Callata*



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar por mantenerme con salud y brindarme fortaleza para concluir.

A mi alma mater (Universidad Nacional del Altiplano – Puno) la cual me dio la oportunidad de crecer profesionalmente, superarme y realizar uno de mis sueños más anhelados.

A la escuela Profesional de Ingeniería Civil, por la excelente educación que me han proporcionado con el objetivo de construir una mejor sociedad.

A los docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por brindarme sus conocimientos, recomendaciones a lo largo de mi formación profesional.

A mi asesor Ing. Guillermo Néstor Fernández Sila, por sus sabios conocimientos que aportaron a la culminación de mi tesis.

A mis jurados. Ing. Zenón Mellado Vargas, Ing. Cesar E. Guerra Ramos, Ing. Néstor E. Gonzales Sucasaire, por haberme brindado sus conocimientos y guiándome en mi trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos(a) que formaron parte de mi etapa universitaria.

*Fiorella Mamani Callata*



## INDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>INDICE GENERAL</b>	
<b>INDICE DE TABLAS</b>	
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>18</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Problema general.....	23
1.2.2. Problema específico .....	23
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4. HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>24</b>
1.4.1. Hipótesis alternativa (H1) .....	24
1.4.2. Hipótesis nula (H0) .....	24
<b>1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>24</b>
1.5.1. Objetivo general .....	24
1.5.2. Objetivo Específico .....	24



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES</b> .....	25
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	25
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	28
<b>2.2.</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....	30
2.2.1.	Parámetros fisicoquímicos .....	30
2.2.2.	Parámetros inorgánicos y orgánicos.....	32
2.2.3.	Parámetros microbiológicos.....	38
<b>2.3.</b>	<b>MARCO TEORICO</b> .....	40
2.3.1.	Agua .....	40
2.3.2.	Calidad de agua .....	44
2.3.3.	Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano .....	44
2.3.4.	Salinidad.....	46
2.3.5.	Desalinización .....	47
2.3.6.	Destilación.....	47
2.3.7.	Destilación solar .....	48
2.3.8.	Evaporación.....	48
2.3.9.	Condensación .....	49
2.3.10.	Radiación solar .....	50
<b>2.4.</b>	<b>MÉTODOS DE DESALACIÓN DE AGUA DE MAR</b> .....	50
2.4.1.	Destilación súbita por efecto flash (MSF). .....	50
2.4.2.	Destilación por efecto múltiple .....	51
2.4.3.	Compresión térmica de vapor (TVC).....	52
2.4.4.	Congelación.....	53



2.4.5. Destilación por membranas .....	53
2.4.6. Compresión mecánica de vapor (CV) .....	54
2.4.7. Osmosis inversa .....	55
2.4.8. Electrodiálisis (ED) .....	58
2.4.9. Intercambio iónico .....	59
2.4.10. Destilación solar .....	59
2.4.11. Tipos de destiladores solares .....	60

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>66</b>
3.1.1. Nivel de investigación .....	66
3.1.2. Diseño de investigación .....	67
3.1.3. Población y muestra .....	67
<b>3.2. VARIABLES A MEDIR .....</b>	<b>67</b>
3.2.1. Variable independiente .....	67
3.2.2. Variable dependiente .....	68
<b>3.3. ÁNGULO DE INCLINACIÓN PARA CUBIERTA DE VIDRIO .....</b>	<b>68</b>
3.3.1. Angulo de inclinación de la cubierta de vidrio. ....	68
<b>3.4. MATERIALES .....</b>	<b>69</b>
3.4.1. Materiales para procesamiento de datos .....	69
3.4.2. Materiales de muestreo de agua subterránea salada y agua procesada ...	69
<b>3.5. METODOLOGIA DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>71</b>
3.5.1. Ubicación .....	71
3.5.2. Radiación Solar en Puno .....	72
3.5.3. Simulación del destilador solar .....	73



3.5.4. Procedimiento de construcción del destilador solar .....	74
3.5.5. Funcionamiento del prototipo .....	75

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA DE DESALINIZACIÓN DE AGUA SUBTERRANEA SALADA, CONSTRUYENDO UN DESTILADOR SOLAR PARA LA OBTENCION DE AGUA ATA PARA CONSUMO HUMANO – DISTRITO TARACO 2022.....</b>	<b>79</b>
4.1.1. Resultados del análisis de agua procesada de las muestras M-02, M-03	80
<b>4.2. RESULTADOS DEL ESTADO ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA SALADA EN LA PARCIALIDAD DE SACASCO I SECTOR SAQUIATA DEL DISTRITO TARACO, 2022.....</b>	<b>85</b>
4.2.1. Resultados del análisis de agua subterránea salada de las muestras M-01 . .....	85
4.2.2. Interpretación gráfica de los resultados de los análisis de calidad de agua .....	87
4.2.3. Interpretación de los parámetros encontrados según otros métodos de tratamiento de agua y su efectividad.....	101
<b>4.3. CUADRO DE COMPARATIVO DEL ANÁLISIS DEL AGUA SUBTERRÁNEA SALADA, AGUA PROCESADA CON EL REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....</b>	<b>105</b>
<b>4.4. CANTIDAD DE AGUA PROCESADA EN LITROS/DÍA QUE PRODUCIRÁ EL DESTILADOR SOLAR.....</b>	<b>108</b>



4.4.1. Cantidad de agua procesada en litros/día que producirá el destilador solar .....	108
<b>4.5. PRESUPUESTO DEL DESTILADOR SOLAR .....</b>	<b>110</b>
4.5.1. Presupuesto del destilador solar .....	110
4.5.2. Elaboración presupuestal de un destilador solar para una familia .....	111
4.5.3. Prueba de análisis estadístico .....	112
<b>4.6. DISCUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>116</b>
4.6.1. Discusión sobre los resultados de la calidad del agua procesada por el destilador solar .....	116
4.6.2. Discusión sobre los resultados de la calidad de agua subterránea salada ... ..	118
4.6.3. Discusión sobre los resultados del cuadro de comparativo del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano. ....	119
4.6.4. Discusión sobre los resultados de la cantidad de agua procesada que produce el destilador solar .....	119
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>124</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>

**TEMA:** Tratamiento de agua subterránea salada

**ÁREA:** Hidráulica.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Hidráulica y Medio Ambiente.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS: 12 de enero de 2024**



## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Clasificación del Agua de Acuerdo a los Solidos totales disueltos ..... 32
Tabla 2	Radiación máxima región Puno ..... 72
Tabla 3	Resultados del análisis Físico - Químico de la muestra M-02..... 80
Tabla 4	Resultados del análisis Físico - Químico de la muestra M - 03..... 80
Tabla 5	Resultados del análisis Físico - Químico de los Metales Totales de la muestra M - 02..... 81
Tabla 6	Resultados del análisis Físico - Químico de los Metales Totales de la muestra M - 03..... 81
Tabla 7	Resultados Del análisis Físico - Químico de los Aniones Oxialidos de la muestra M - 02 ..... 82
Tabla 8	Resultados del análisis Físico - Químico de los Aniones de la muestra M - 02 ..... 82
Tabla 9	Resultados Del análisis Físico - Químico de los Aniones de la muestra M – 03..... 82
Tabla 10	Resultados del análisis microbiológico de la muestra M-02 ..... 83
Tabla 11	Resultados del análisis microbiológico de la muestra M-03 ..... 84
Tabla 12	Resultados del análisis Físico - Químico de la muestra M-01 ..... 85
Tabla 13	Resultados del análisis Físico - Químico de los metales totales de la muestra M-01 ..... 86
Tabla 14	Resultados del análisis Físico - Químico de Aniones Oxihalidos de la muestra M-01 ..... 86
Tabla 15	Resultados del análisis Físico - Químico de Aniones de la muestra M-01.. 87
Tabla 16	Cuadro comparativo de los análisis físico – químico con el Reglamento . 105



Tabla 17	Cuadro comparativo de los análisis físico – químico de metales totales con el Reglamento .....	106
Tabla 18	Cuadro comparativo de los análisis físico – químico aniones oxihalidos con el Reglamento .....	106
Tabla 19	Cuadro comparativo de los análisis físico – químico de aniones con el Reglamento .....	107
Tabla 20	Cuadro comparativo de los análisis microbiológico .....	107
Tabla 21	Datos obtenidos del de investigación.....	108
Tabla 22	Valores promedios de las Mediciones de agua procesada .....	109
Tabla 23	Presupuesto del destilador solar .....	110
Tabla 24	Presupuesto de un destilador solar para abastecer a una familia .....	112
Tabla 25	Datos para análisis estadístico .....	112
Tabla 26	Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk .....	115
Tabla 27	Prueba Estadística con wilcoxon .....	116



## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1	Esquema de una planta evaporación súbita por efecto flash..... 51
Figura 2	Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF) . 52
Figura 3	Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF 53
Figura 4	Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales (VTE) ..... 54
Figura 5	Proceso natural de Osmosis. .... 55
Figura 6	Proceso de osmosis inversa..... 56
Figura 7	Desalación por osmosis (OI) con turbina Pelton incorporada ..... 57
Figura 8	Proceso de electrodiálisis ..... 58
Figura 9	Esquema de un colector solar para destilación solar. .... 60
Figura 10	Destilador solar de una sola vertiente. .... 61
Figura 11	Destilador solar de dos vertientes ..... 61
Figura 12	Destilador solar de invernadero ..... 62
Figura 13	Destilador solar de cascada ..... 63
Figura 14	Destilador solar esférico de barredera..... 64
Figura 15	Procesos de destilación multiefecto (MED). .... 65
Figura 16	Ubicación del lugar del proyecto ..... 71
Figura 18	Simulación del destilador solar ..... 73
Figura 19	Simulación del destilador solar ..... 73
Figura 20	Se observar la estructura completa del destilador solar ..... 74
Figura 21	Estructura final del prototipo ..... 75
Figura 22	Colocación de estiércol de vacuna para generar calor ..... 76
Figura 23	Abasteciendo agua salina al prototipo ..... 76



Figura 24	Se observa la evaporación del agua. ....	77
Figura 25	Sales obtenidas después del tratamiento .....	78
Figura 26	Comparación de los resultados del análisis del Sólidos disueltos totales con LMP del reglamento. ....	88
Figura 27	Comparación de los resultados del análisis turbidez con LMP del reglamento. ....	89
Figura 28	Comparación de los resultados del análisis del Nitrógeno con LMP del reglamento.....	89
Figura 29	Comparación de los resultados del análisis Dureza Total con LMP del reglamento.....	90
Figura 30	Comparación de los resultados del análisis de Conductividad con LMP del reglamento.....	91
Figura 31	Comparación de los resultados del análisis del Aluminio con LMP reglamento .....	91
Figura 32	Comparación de los resultados del análisis del Arsénico con LMP reglamento .....	92
Figura 33	Comparación de los resultados del análisis del Boro con LMP reglamento	93
Figura 34	Comparación de los resultados del análisis del Hierro con LMP del reglamento.....	93
Figura 35	Comparación de los resultados del análisis del Manganeseo con LMP reglamento.....	94
Figura 36	Comparación de los resultados del análisis de sodio con LMP del reglamento .....	95
Figura 37	Comparación de los resultados del análisis del Cloruros con LMP reglamento .....	95



Figura 38	Comparación de los resultados del análisis sulfato con LMP del reglamento .....	96
Figura 39	Comparación de los resultados del análisis OVL - algas con LMP del reglamento.....	97
Figura 40	Comparación de los resultados del análisis OVL – numeración de coliformes totales con LMP del reglamento .....	97
Figura 41	Comparación de los resultados del análisis Numeración de coliformes termo tolerantes o fecales con LMP del reglamento .....	98
Figura 42	Comparación de Recuento de Microorganismos Heterótrofos con LMP reglamento.....	99
Figura 43	Comparación de los resultados del análisis de OVL-Protozoarios con LMP reglamento.....	100
Figura 44	Comparación de Numeración de Escherichia coli (NMP)con LMP reglamento.....	100
Figura 45	Comparación de los resultados del análisis de OVL-Rotíferos, copépodos y nematodos con LMP reglamento .....	101
Figura 46	Jerarquía de las necesidades de agua .....	111



## ACRÓNIMOS

<b>MINSA:</b>	Ministerio de Salud
<b>ONU:</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>SUNASS:</b>	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
<b>OMS:</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>MVCS:</b>	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
<b>ANA:</b>	Autoridad Nacional del Agua
<b>DIGESA:</b>	La dirección General de Salud Ambiental
<b>MINAN:</b>	Ministerio de Ambiente
<b>UNESCO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y Cultura
<b>D.S.:</b>	Decreto Supremo
<b>INACAL:</b>	Instituto Nacional de Calidad
<b>LMP:</b>	Límite Máximo Permisible
<b>PCO:</b>	Parámetros de control obligatorio
<b>PACO:</b>	Parámetros adicionales de control obligatorio
<b>COGUANOR:</b>	Comisión Guatemalteca de Normas
<b>M – 01:</b>	Muestra 01 agua subterránea
<b>M - 02:</b>	Muestra 02 agua procesada
<b>M - 03:</b>	Muestra 03 agua procesada
<b>PH:</b>	Potencial de Hidrogeno
<b>SDT:</b>	Solidos Disueltos Totales
<b>OVL:</b>	Organismos de Vida Libre
<b>l/día:</b>	Litros por día
<b>ml/día:</b>	Mililitros por día



<b>W/m<sup>2</sup>:</b>	Vatios por metro cuadrado
<b>Org/L:</b>	Organismos por litro
<b>NMP/100Ml:</b>	Numero más probable por 100 mililitros
<b>Ufc/Ml:</b>	Unidades formadoras de colonia por milímetros
<b>Huevos/L:</b>	Huevos por litro
<b>Quistes/L:</b>	Quistes por litro
<b>mg/L:</b>	Miligramos por litro
<b>NTU:</b>	Unidades nefelometricas de Turbidez
<b>µS/cm:</b>	Microsiemens por centímetro
<b>U de color:</b>	Unidades de color
<b>U de Ph:</b>	Unidades de pH
<b>DSV:</b>	Destilador Solar de una Vertiente
<b>MSF:</b>	Destilación Súbita por efecto Flash
<b>MED:</b>	Destilación por efecto Múltiple
<b>HFF:</b>	Evaporadoras Horizontales
<b>TVC:</b>	Compresión Térmica de Vapor
<b>BPE:</b>	Elevación del punto Ebullición
<b>CV:</b>	Compresión Mecánica de Vapor
<b>VTE:</b>	Evaporador de Tubos Verticales
<b>OI:</b>	Osmosis Inversa
<b>PNUMA:</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>WASH:</b>	Agua, Saneamiento e Higiene
<b>FAO:</b>	La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>ACRSA:</b>	Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria



<b>S.f.:</b>	Sin fecha
<b>L/P/DIA:</b>	litros por persona por día
<b>PVC:</b>	Policloruro de vinilo
<b>CPVC:</b>	Policloruro de vinilo clorado



## RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo examinar la alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano. El enfoque de investigación es cuantitativo, nivel descriptivo, tipo experimental. Ante ello, se construyó un destilador solar para desalinización de agua subterránea salada y otros parámetros presentes en el agua, para lo cual, se aprovechó la radiación solar, como medio energético para lograr la separación de los parámetros presentes en el agua subterránea salada. Esto se llevó a un proceso de destilación natural, es decir, un proceso de evaporación del agua dentro del prototipo, luego la condensación a través del vidrio y descenso del agua procesada en forma de gotas a través de canaletas de aluminio y se captó en un recipiente el agua procesada. Seguidamente las aguas se llevaron a un laboratorio para su respectivo análisis de los resultados y comparar con los LMP en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, se obtuvo como resultado del agua procesada cumple con los requisitos establecido del reglamento, uno de los casos de los parámetros que redujeron fue los sólidos disueltos totales de 4570 mg/L a 55 mg/ L. También se realizó el análisis del estado actual de agua subterránea salada teniendo como resultados que no cumple acorde al reglamento, por lo tanto, el agua actualmente en la zona no es apto para consumo humano, ya que LMP de acuerdo reglamento en los sólidos disueltos totales es 1000 mg/L. La cantidad máxima de volumen de agua procesada que se obtuvo mediante el destilador solar en un día fue de 1.5 l/día, volumen de promedio de agua 1.32 l/día y un volumen mínimo de agua 0.8 l/día.

**Palabras Clave:** Agua procesada, agua subterránea salada, calidad de agua, destilador solar.



## ABSTRACT

The objective of the research work is to examine the alternative of desalination of salty groundwater, building a solar still to obtain water suitable for human consumption. The research approach is quantitative, descriptive level, experimental type. Given this, a solar still was built for desalination of salty groundwater and other parameters present in the water, for which solar radiation was used as an energy means to achieve the separation of the parameters present in the salty groundwater. This led to a natural distillation process, that is, a process of evaporation of water inside the prototype, then condensation through the glass and descent of the processed water in the form of drops through aluminum channels and captured in a container the processed water. The waters were then taken to a laboratory for their respective analysis of the results and compared with the LMP in the Regulation of the Quality of Water for Human Consumption, the result was obtained that the processed water complies with the established requirements of the regulation, one of the cases of the parameters that were reduced were the total dissolved solids from 4570 mg/L to 55 mg/L. The analysis of the current state of salty groundwater was also carried out, with the results that it does not comply with the regulations, therefore, the water Currently in the area it is not suitable for human consumption, since the LMP according to the regulation in total dissolved solids is 1000 mg/L. The maximum amount of volume of processed water obtained by the solar still in one day was 1.5 l/day, average volume of water 1.32 l/day and a minimum volume of water 0.8 l/day

**Keywords:** Processed water, salty groundwater, water quality, solar still.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En las zonas aledañas al distrito de Taraco presenta escasez de agua dulce para consumo, por el cual, ese fue el motivo del presente proyecto de investigación, construir un destilador solar para obtener agua apta para consumo humano utilizando la energía solar como medio energético. El proyecto de investigación consta de siete capítulos, los cuales se presentan a continuación en un breve resumen. Capítulo. El capítulo I, referido a la “Introducción”, la formulación del problema actual del agua subterránea salada en la parcialidad de Sacasco I Sector Saquita del distrito Taraco, asimismo se presentan justificación, hipótesis y objetivos de investigación. El capítulo II, refiere a “Revisión Literaria” recopilación de información referidos al tema de investigación, así como antecedentes y conceptos. El capítulo III, menciona los “materiales y métodos” que se utilizaron en la investigación, así como nivel de investigación, tipo de investigación, población y muestra, variables a medir, materiales, metodología. El capítulo IV, presenta los “Resultados y Discusión” obtenemos luego del análisis de las muestras de agua subterránea salada y agua procesada mediante el destilador solar. El capítulo IV “Conclusiones”, indica la concusión de la investigación acorde de los objetivos planteados. El capítulo VI “Recomendaciones” indica las recomendaciones de acuerdo a las conclusiones obtenidas. Para finalizar, el Capítulo VII muestra las “Referencias Bibliográficas”



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En todo el mundo, el agua es un recurso muy escaso. De los 1,4 billones de kilómetros cúbicos de agua que hay en la tierra, el 97,6 % es salada, el 2,38 % es hielo y glaciares, y sólo alrededor del 0,024 % está en la superficie de la tierra y, por tanto, puede utilizarse para el consumo humano. Ante esta situación, el problema de la falta de acceso al agua potable es un problema global, y Perú no es una excepción. (Rodríguez et al., 2010)

Los cursos de agua subterráneos tienen una dirección y un sentido, y esa dirección suele ser hacia el río principal de la zona. Al realizar un sondeo a lo largo de un río, a menudo descubrimos que está alimentado por corrientes cercanas, así como por otras corrientes más alejadas que, con el tiempo, han ido disolviendo las sales. No hay problemas con los caudales cercanos, pero los que han tenido un largo trayecto disolviendo sales y poseen una alta conductividad. (Buscar agua, 2016)

Las inundaciones como fenómenos naturales se presentan anualmente en cada verano y extraordinariamente cada cierto tiempo en Huancané, afectando enormes áreas de planicies contiguas al lago. Son el resultado de la transgresión lacustre y desbordamientos de los ríos Ramis y Huancané. (Choqueanca & Mamani, 2008)

Las dos inundaciones más graves fueron en 1984 – 1986 y 2003 que interrumpieron las carreteras de conexión a la ciudad de Huancané, la causa de estos fenómenos se encuentra en la colmatación de los lechos fluviales y del fondo del lago Titicaca, en la desembocadura del río Ramis que recibe las aguas pluviales desde las cordilleras de la parte N y NO del altiplano peruano. (Choqueanca & Mamani, 2008)

Requena cuenta con una población de aproximadamente 80 familias, los pobladores se dedican a la labor agropecuaria de auto sostenimiento con una economía



precaria, en estas zonas solo cuenta con pozos de agua salada, por lo que existe una gran necesidad de contar con agua dulce para su consumo humano. Los pobladores del lugar tienen que recorrer 30 minutos de distancia a pie hasta el lago para conseguir el líquido vital. (La Decana Radio Juliaca, 2018)

Los contaminantes físico - químicos y microbiológicos presentes en el agua son un problema para la salud pública.

Sal es necesaria para el bienestar humano. Los máximos 5 gramos de agua de mar se recomiendan por la OMS, pero no es igual a un vaso de agua con sal. Estaríamos ingiriendo alrededor de 35 gramos de sal por litro porque el contenido medio de sal en los océanos es del 3,5% (35 gramos por litro de agua). El consumo excesivo de sal puede llevar a una enfermedad que provoca hipertensión e incrementar significativamente el riesgo de padecer enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares, ya que las venas se contraerían para mantener la presión arterial, lo que provoca que la sangre no llegue al cerebro. (iagua, 2018)

Es necesario controlar las cualidades microbiológicas, físicas y químicas del agua, especialmente en el caso del agua destinada al consumo humano. La causa más común de infecciones gastrointestinales es el agua contaminada. La presencia de agentes patógenos en el agua puede contaminar los alimentos. Los metales pesados que constituyen un contaminante químico en el agua presentan un problema para la salud pública. (Bauer, 2007)



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Será una alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano - Distrito de Taraco, 2022?

### **1.2.2. Problema específico**

- ¿Cuál será el estado actual de la calidad de agua subterránea salada en la Parcialidad de Sacasco I Sector Saquita del distrito Taraco, 2022?
- ¿Cuál será la comparación con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano con los resultados obtenidos del agua procesada mediante el destilador solar?
- ¿Cuál será la cantidad de agua procesada en litros/día producirá el destilador solar?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El proyecto de investigación inicia con la escasez de agua para consumo, ya que sociedad actualmente atraviesa una crisis de agua por la inadecuada distribución de los recursos hídricos en diferentes partes del mundo, pero si cuentan con una gran cantidad de agua salada o aguas a tratar para lo cual esta investigación ayudara a promover una mejor calidad de vida en los lugares alejados de la zona del distrito Taraco donde no cuentan con agua para consumo pero si cuentan con agua subterránea salada en muy malas condiciones, actualmente los pobladores de las zonas no consumen dicha agua, por motivos de que puedan atentar contra su salud.



## **1.4. HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Hipótesis alternativa (H1)**

- Es posible una alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano – Distrito de Taraco.

### **1.4.2. Hipótesis nula (H0)**

- No es posible una alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano – Distrito de Taraco.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Examinar la alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano – Distrito de Taraco.

### **1.5.2. Objetivo Especifico**

- Analizar el estado actual de la calidad de agua subterránea salada en la parcialidad de Sacasco I Sector Saquiata del distrito de Taraco.
- Realizar una comparación con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano con los resultados obtenidos del agua procesada mediante el destilador solar.
- Determinar la cantidad de agua procesada en litros/día producirá el destilador solar.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

(Castillo, 2008) En su investigación titulada “Desarrollo y análisis energético de destiladores solares de agua con convección natural y convección forzada” indica que la fuente de energía es una técnica que se ha desarrollado con importantes beneficios económicos, particularmente en términos de la cantidad de electricidad o petróleo ahorrada y la calidad del agua producida. La destilación solar de agua marina o dulce es una opción técnicamente viable y económicamente viable, según las experiencias. El sistema podría ser capaz de abordar el problema del agua potable en comunidades marginadas donde hay pocas oportunidades para establecer algún tipo de infraestructura de potabilización y tratamiento de agua. solución rápida, económica y sencilla para la obtención de agua purificada para consumo humano, que traerá beneficios inmediatos a los usuarios al prevenir problemas de salud derivados del uso e ingesta de agua contaminada. Esto ayudará a la población a vivir una vida más saludable.

(Urresta, 2013) En su investigación titulada “Diseño, construcción y simulación de un desalinizador solar térmico modular de agua de mar para el laboratorio de energías alternativas y eficiencia energética, con una capacidad diaria promedio de 4 litros” Tiene como objetivo Presentar una solución que mejore la disponibilidad de agua dulce en dichas zonas (particularmente en comunidades pequeñas o aisladas) mediante el diseño, construcción y modelado



de un desalinizador solar térmico modular con una capacidad media diaria de 4 litros. Aspectos como el coste, la facilidad de mantenimiento, la simplicidad del aparato, la vida útil y eficiencia cobran mayor importancia en la etapa de diseño al considerar la realidad socioeconómica y tecnológica del país. Concluye Las necesidades de agua para uso doméstico (específicamente para beber o preparar alimentos) de pequeñas comunidades o grupos aislados que no poseen fuentes de agua dulce, pero sí de agua salada o salina, pueden ser satisfechas mediante la desalinización solar térmica.

(Alban, 2015) En un investigaciones titulada “Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 a 4 personas en el sitio Bajo Alto, Cantón el Guabo, provincia de el Oro” indica que El sistema de destilación solar para potabilizar agua salobre o contaminada (agua subterránea) fue elegible para ser implementado, de acuerdo con estudios ya realizados en varios lugares del mundo, ya que es un prototipo que se implementó en la parroquia Bajo Alto para examinar su comportamiento en la producción diaria y motivar a los Gobiernos de turno a utilizar energías renovables que no dañen el medio ambiente. El prototipo proporciona una producción diaria de agua procesada de 3 litros/m<sup>2</sup>/día y su funcionamiento se fundamenta en energías renovables que nos brindan la naturaleza. Además de funcionar de manera fácil, el prototipo cuenta con un área de un metro cuadrado y las condiciones climáticas del lugar.

(Perez & Salazar, 2015) En su investigación titulada “Análisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de Cartagena” Propone “una solución fácil de operar, económica y sostenible con el medio ambiente, el objetivo principal es destacar la eficacia de un prototipo de destilador solar a escala piloto en la desalinización de agua de mar extraída de las playas de



Bocagrande bajo las condiciones ambientales de la ciudad de Cartagena y bajo las radiaciones solares presentes en la ciudad.” En este caso “ayudar a los residentes de la isla Tierra Bomba, quienes sufren por la falta de agua adecuada para el consumo humano de las comunidades afectadas por la falta de recursos hídricos.” Concluye que “el sistema operó efectivamente a una temperatura máxima de 41°C y una radiación solar máxima de 1035 W/m<sup>2</sup>, produciendo agua que cumple con los requisitos evaluados (pH, conductividad, salinidad, color y turbidez) establecidos por la Resolución 2115 de 2007, que reglamenta la calidad del agua para consumo humano. Así lo demuestran los resultados de laboratorio de calidad de agua reportados por AcuaCar, los cuales muestran que el método de destilación realizado por el prototipo de destilador solar ubicó los valores evaluados dentro de los rangos especificados por la norma”

(Vasquez, 2017) En su investigación titulada “Diseño de investigación del estudio de la producción de agua apta para consumo humana utilizando un desalinizador solar en Sipacate, Escuintla” el objetivo es “proporcionar un prototipo de extracción de agua procesada para transformar la solución salina del agua de mar en agua de uso humano que cumpla los requisitos de la norma COGUANOR 29001.” Para ello, se “aprovechará la energía solar, utilizando los recursos disponibles y disminuyendo los costes en el uso de la energía. El desalinizador solar de una sola vertiente será la base del prototipo, y constará de dos cámaras: una para dispersar la solución salina y otra para captar el agua procesada, así como recogerla en un contenedor transportable. El eje vertical, o techo, tendrá un ángulo de inclinación de 45°.”

(Luque & Romero, 2017) En su investigación titulada “Diseño y construcción de un destilador de agua salada alimentando por medio de energía



renovables” El objetivo principal es “diseñar y construir un prototipo destilador de agua utilizando fuentes de energía renovables. Concluye que, en condiciones críticas, el prototipo diseñado destile medio litro de agua durante un tiempo aproximado de 4 horas.”

(Escandon & Fernandez de Cordova, 2021) En su investigación titulada “Diseño de un prototipo de destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano en una familia” ofrece “una alternativa ecológica al tratamiento del agua potable utilizando un prototipo de destilador solar para obtener agua apta para el consumo humano en una familia. Los resultados son satisfactorios, ya que el agua procesada es apta para el consumo humano. Sin embargo, debido al clima de la ciudad, no es posible producir el volumen deseado, sino que se obtienen 1,5 litros al día, lo que no es sostenible para una familia de cuatro miembros.”

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

(Mamani F. E., 2012) En su investigación titulada “Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar tubular para desalinizar agua de mar” “indica en su trabajo se realizó a escala piloto para investigar el comportamiento y características del destilador y del agua procesada, respectivamente, bajo condiciones de radiación solar global en Tacna.” Para la evaluación del “DST se utilizó agua de mar y se realizaron mediciones del volumen de agua procesada antes y después de la evaluación.” Concluye que “el destilador solar tubular que se diseñó, construyó y evaluó demuestra un buen desempeño en el proceso experimental de tratamiento de agua de mar. En ese proceso, se logró medir la producción de volumen de agua procesada, con una producción máxima de 120 ml/día en mayo y una producción mínima de 45 ml/día en agosto. La irradiancia



solar global promedio era de 102 w/m<sup>2</sup>, mientras que la producción media de 63 ml/día en junio era de 305 w/m<sup>2</sup>; El volumen necesario para el destilador en el DST durante los periodos de otoño e invierno es de 100 ml/día en promedio, con una irradiación solar global promedio de 350 w/m<sup>2</sup>.” El pH y la salinidad se miden para determinar la calidad de agua procesada obtuvo en las evaluaciones. “El agua de mar contenía una concentración de 41,6 (g sal) /l en relación a la salinidad. Una vez destilada, el agua tenía una salinidad de 0,008 (g sal) /l; sin embargo, tras una segunda evaluación, la salinidad resultó ser de 0,003 (g sal) /l. Esto indica que el agua procesada es de buena calidad y puede utilizarse tanto para uso doméstico como para algunas aplicaciones médicas.”

(Felix, 2020) En su investigación titulada “Sistema de destilación solar para purificación de aguas salobres” El objetivo es “desarrollar y evaluar un prototipo de destilador solar que pueda purificar las aguas salobres para su uso humano. Los hallazgos demostraron que la cantidad de agua purificada y las condiciones climáticas (radiación solar) están relacionadas; se obtuvo un volumen medio de 326.88 ml/día, con un nivel máximo de 452 ml/día y un nivel mínimo de 208 ml/día. El agua purificada producida por destilación solar de la salinera de Maras cumple con todos los estándares de calidad de agua potable, con una reducción de 387 mg/l a 25 mg/l de cloruro y una dureza total de 6500 mg/l a 33 mg/l. El prototipo del destilador solar finalmente alcanzó una eficiencia térmica del 35%.”

(Polo & Perez, 2020) En su investigación titulada “Construcción y caracterización de un destilador solar de una vertiente con superficie reflectora” El objetivo es “construir y evaluar un destilador solar de una vertiente (DSV) que use energía solar para desalar agua de mar con una superficie reflectora en las



condiciones meteorológicas de la ciudad de Tacna.” Concluye que “el destilador Solar de una vertiente (DSV) destila agua de mar de manera razonable bajo las condiciones meteorológicas de la ciudad de Tacna. Con una irradiación solar promedio de 165 w/m<sup>2</sup>, una temperatura ambiente variable entre 18 y 23 °C y una superficie colectora de 1,013 m<sup>2</sup> y un volumen de cama de aire húmedo de 0.58m<sup>3</sup>, el DSV produce 2,185 litros/día en promedio.”

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. Parámetros fisicoquímicos

#### - Cloruros

El cloro que se encuentra en el agua potable procede de fuentes naturales, aguas regeneradas y residuos industriales, intrusiones salinas y aguas residuales urbanas. La principal forma en que las personas están expuestas al cloro es a través de la adición de sal a sus alimentos, y la cantidad de cloro que consumen de esta fuente suele superar a la del agua potable. Las concentraciones excesivas de cloro aceleran la velocidad a la que se corroen los metales en los sistemas de distribución, aunque esto varía en función de la alcalinidad del agua, que puede aumentar la concentración de metales en el agua. (Mamani V. E., 2012)

Es uno de los aniones inorgánicos más importantes que hay en el agua. El aumento del cloruro en un agua puede ser el resultado de lavado de suelos causado por fuertes lluvias, procesos industriales y contaminación de aguas residuales, mientras que en una zona costera puede ser el resultado de las infiltraciones del agua del mar. Un alto contenido de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal, pero suele no causar problemas de potabilidad en las aguas de consumo. (DIGESA, 2009)



“Es uno de los iones inorgánicos más comunes en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, pero también debe estar presente en aguas potables. El sabor salado producido por la concentración de cloruros en agua potable varía.” “Si el catión es sodio, algunas aguas con 25 mg Cl-/L tienen un sabor salado. Además, en aguas con una concentración de hasta 1g Cl-/L, donde los cationes predominantes son el calcio y el magnesio, este puede estar ausente.” “Los altos niveles de cloruros pueden dañar las estructuras metálicas y obstaculizar el crecimiento de las plantas. Cuando las aguas residuales se utilizan para el riego de campos agrícolas, las altas concentraciones de cloruro empeoran significativamente la calidad del suelo.” (Secretaría de Economía, 2001)

- pH

“Es el indicador que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica calculando el número de iones hidrógeno presentes. Se calcula para estimar los efectos de acidez o alcalinidad causados por factores naturales o humanos. Este indicador se mide en el lugar. Se evalúa a través de una escala de 0 a 14.” “Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida, los valores de pH por encima de 7 indican que la sustancia es básica y los valores de pH por encima de 7 indican que la sustancia es neutra. La interpretación depende de la alcalinidad o acidez titulable, que son relevantes a 9,6 y 4,4 unidades de pH.” (DIGESA, 2009)

- Sólidos Disueltos Totales

Define como un “indicador de la salinidad del agua, midiendo las sales inorgánicas. En el Sistema Internacional se acostumbra dar el resultado en mg/L. Los sólidos totales disueltos son más o menos equivalentes a los minerales



disueltos en aguas de alta calidad.” “Con las concentraciones de iones y cationes se verifican y se validan los análisis químicos de muestras. Para tal fin debe verificarse el equilibrio, por lo que la suma de miliequivalentes por litro de aniones debe ser igual a la de cationes.” (Quispe, 2012)

Por lo general “Las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en agua se conocen como sólidos disueltos totales (SDT). Los SDT en el agua de consumo provienen de aguas residuales, escorrentías urbanas y fuentes naturales. Las sales que se utilizan en algunos países para eliminar el hielo de las carreteras también aumentan la cantidad de SDT en el agua de consumo. Las concentraciones de SDT en el agua varían significativamente de una región geológica a otra debido a las diversas solubilidades de los minerales.” (OMS, 2006)

**Tabla 1**

*Clasificación del Agua de Acuerdo a los Sólidos totales disueltos*

<b>Clasificación</b>	<b>Sólidos Totales Disueltos (mg/L)</b>
Agua Potable	50 - 1000
Agua Salobre	1 - 10000
Agua Marina	10000 - 100000
Salmuera	Mayor a 100000

### **2.2.2. Parámetros inorgánicos y orgánicos**

- Aluminio

“El aluminio es un metal ligero que se encuentra en gran cantidad en la naturaleza. Forma parte del 8% de la corteza terrestre y ocupa el tercer lugar en



orden de abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. Es un componente natural del suelo, las plantas y los tejidos animales. La presencia de aluminio como sal soluble, coloide o compuesto insoluble en casi todas las aguas naturales se debe a una esta amplia distribución. El aluminio coloidal, soluble e insoluble se puede encontrar en aguas tratadas o en aguas residuales como resultado de la coagulación del material con aluminio. El aluminio puede estar presente en aguas naturales como resultado de la lixiviación de las rocas y el suelo.” (DIGESA, 2009)

- Arsénico

“En aguas naturales, los metales pesados arseniato y arsenito, que son venenosos y muy tóxicos, pueden aparecer debido a descargas industriales o uso de insecticidas” (ANA, 2018)

“Es importante destacar que el Arsénico no es un metal pesado, sino un elemento traza, y su toxicidad es muy importante. Muchos minerales contienen arsénico como materia de desecho, y también puede liberarse al medio ambiente a través de la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y una variedad de actividades humanas. Su presencia en el agua suele indicar un vertido industrial. Debido a su alta toxicidad y a su influencia en los procesos de depuración y biodegradación, se requiere su eliminación antes de los mismos. Por acumularse en el cuerpo, el arsénico en concentraciones de 100 mg/L puede causar envenenamientos o efectos crónicos. Además, se dice que tiene propiedades cancerígenas.” (DIGESA, 2009)



- Boro

Se encuentra en “las aguas naturales debido a dos fuentes: la geología natural y/o los efluentes de aguas residuales tratadas y no tratadas. Este elemento en el agua daña algunos productos agrícolas, incluidos los cítricos. Además, el agua que se destina a consumir por la población que contiene boro puede presentar riesgos para la salud de las personas.” (ANA, 2018)

- Cadmio

El cadmio (Cd), un micronutriente, es esencial para plantas, animales y humanos. El cadmio se libera principalmente al medio ambiente a través del uso de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, aunque también puede liberarse durante el refinado de zinc, plomo o cobre. (DIGESA, 2009)

“En la naturaleza, el cadmio se encuentra en forma de sulfuro y en impureza de los minerales de zinc y plomo. La presencia de ellos en el agua se debe a las actividades mineras y de función” (ANA, 2018).

- Cobre

El cobre (Cu) es una sustancia esencial para la vida humana, las plantas y los animales; sin embargo, si las plantas y animales están expuestas a concentraciones elevadas de cobre biodisponible, puede ocurrir bioacumulación, lo que puede tener efectos tóxicos, anemia, daño al hígado y al riñón, irritación del estómago e intestino. (DIGESA, 2009)

“Es un elemento traza muy común en las cuencas hidrográficas. Sin embargo, la mayoría de los minerales de cobre son relativamente insolubles y el cobre solo se encuentra en bajas concentraciones en las aguas naturales porque se



absorbe en la fase sólida. Debido a la presencia de sulfuros, la solubilidad del cobre debería ser aún más baja en ambientes anoxicos. La mayor concentración de aguas naturales superficiales puede deberse a los desechos industriales y/o la minería.” (ANA, 2018)

- Cromo

El Cromo (Cr) se encuentra principalmente en forma de compuestos en la naturaleza. La cromita (también conocida como piritita crómica o cromoferrita) es el mineral de cromo más importante. El cromo puro se obtiene por reducción del óxido de cromo (III) con aluminio (procedimiento aluminotérmico), mediante electrólisis o a través del ioduro crómico. (DIGESA, 2009)

“Las concentraciones de cromo en los cuerpos de agua naturales suelen ser muy bajas. La actividad minera y los procesos industriales pueden resultar en concentraciones elevadas de este elemento. El metal representa un peligro para la salud humana.” (ANA, 2018).

- Hierro

“El cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre es el hierro (Fe). Es un metal magnético, duradero y de color gris plateado. El hierro es un metal activo en términos de química. Solo hay algunas áreas donde el hierro está disponible sin restricciones, especialmente al oeste de Groenlandia. También se encuentra en meteoritos, donde suele estar aleado con níquel. En forma de compuestos químicos, se encuentra por todo el mundo.” (DIGESA, 2009)



- Manganeseo

“El Manganeseo (Mn) es un metal que se encuentra naturalmente en muchos tipos de rocas y se considera un nutriente esencial para la salud. El manganeseo se encuentra en una variedad de alimentos, como las espinacas, el te y las hierbas. Los granos y arroz, las semillas de soja, los huevos, los frutos secos, el aceite de oliva, las judías verdes y las ostras son las comidas con las concentraciones más altas. El manganeseo se traslada al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas a través de la sangre después de ser absorbido por el cuerpo.” (DIGESA, 2009)

“El manganeseo se encuentra con frecuencia en rocas y suelos en forma de óxidos e hidróxidos. La evaluación es crucial para regular las concentraciones de varios metales trazas en los cuerpos de agua natural. El propósito de elegir este parámetro es verificar que su presencia es completamente natural” (ANA, 2018).

- Mercurio

“Salvo en algunos lugares donde se encuentran depósitos de este mineral por su propia naturaleza, su presencia en las aguas se debe principalmente a las actividades antrópicas (minería, etc.). En general, es un elemento que rara vez se encuentra en la naturaleza (corteza terrestre)” (ANA, 2018).

- Plomo

“El plomo puede provenir de fuentes naturales y artificiales. Es flexible, suave y fácil de modelar. Además, es uno de los metales no ferrosos que se recicla con mayor frecuencia. Solo se encuentran trazas de plomo en las aguas naturales” (DIGESA, 2009).



“Aunque es un componente relativamente insignificante en la corteza terrestre, el plomo se encuentra en gran cantidad, con concentraciones bajas en rocas sedimentarias y suelos contaminados” (ANA, 2018).

- Selenio

“El selenio está presente en la corteza terrestre, generalmente en asociación con minerales que contiene azufre” (OMS, 2006).

- Uranio

Señala que “el uranio es abundante en la naturaleza, especialmente en los granitos y en varios depósitos de minerales. Las centrales nucleares utilizan principalmente uranio como combustible.” “La filtración del uranio de los depósitos naturales, la liberación de desechos de su tratamiento, las emisiones de la industria nuclear, la combustión de carbón y otros combustibles y el uso de fertilizantes fosfatados contienen todos los factores que contribuyen a la presencia de uranio en el medio ambiente.” (OMS, 2006)

- Zinc

“El zinc (Zn), una sustancia muy común, se encuentra en concentraciones pequeñas en las rocas ígneas. Es un metal con propiedades químicamente activas. Muchos alimentos contienen cantidades diferentes de zinc. El zinc le da al agua un sabor astringente desagradable. El agua potable contiene cierta cantidad de zinc, que puede aumentar cuando se almacena en tanques de metal.” (DIGESA, 2009)



### 2.2.3. Parámetros microbiológicos

#### - Coliformes Totales

Las aguas residuales y las aguas naturales contienen “gérmenes de la familia de bacterias coliformes, excepto E. coli. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces tanto de humanos como de animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y pueden reproducirse en suelos y medios acuáticos.” Además “los coliformes totales pueden sobrevivir y multiplicarse en los sistemas de distribución de agua, especialmente donde hay biopartículas.” (OMS, 2006)

“Los coliformes totales se pueden encontrar tanto en heces como en el entorno, como aguas ricas en nutrientes, suelos y materias vegetales en descomposición. Hay especies que se reproducen en el agua, pero nunca o casi nunca se encuentran en las heces” (DIGESA, 2009).

#### - Coliformes termotolerantes o fecales.

La mayoría de las veces, “E. coli forma la población de coliformes termotolerantes; como resultado, este grupo se considera un indicador de contaminación fecal menos confiable que E. coli, aunque todavía es aceptable. Escherichia coli (o coliformes termotolerantes) es el microbio de elección para los programas de vigilancia y verificación, como los que se enfocan en la calidad del agua de consumo. Deben tomarse medidas adicionales para responder a su descubrimiento, como la realización de pruebas adicionales y la búsqueda de posibles fuentes de contaminación, como un tratamiento inadecuado o cambios en la integridad del sistema de distribución. La presencia de E. coli (o incluso de coliformes termotolerantes) es un signo de contaminación fecal reciente.” (OMS, 2006)



“Los coliformes termotolerantes pueden provenir de aguas orgánicamente enriquecidas con efluentes industriales, materiales vegetales y suelos en descomposición. Incluye Escherichia y, en menor medida, Entre 44 y 45 °C, este grupo de organismos puede fermentar la lactosa. El número de muestra más probable por 100 mililitros (NMP/100mL) se utiliza para medirlo.” (DIGESA, 2009)

- Organismo de vida libre

“La vida libre es aquella que puede sobrevivir en un medio sin depender de otros organismos. Por ejemplo, los microorganismos saprófitos que se alimentan mediante la descomposición de la materia orgánica, las microalgas que realizan fotosíntesis para alimentarse” (Arias, 2012).

- Huevos y Larvas de helmintos

“Los helmintos incluyen todos los tipos de gusanos, tanto parásitos como no parásitos. Numerosos animales y humanos son infectados por parásitos helmintos. Este parásito se encuentra en aguas residuales domésticas sin tratamiento y se infecta por el consumo de agua contaminada” (ANA, 2018).

- Virus

La mayoría de los virus relacionados con la transmisión por agua son virus entéricos que pueden infectar el tracto digestivo y se excretan en las heces de las personas infectadas. El ser humano se considera la única fuente de todas las especies de virus que infectan a nuestra especie, con la excepción del virus de la hepatitis E. Los virus entéricos generalmente causan enfermedades agudas que tienen un tiempo de incubación corto. (Ramos P. L., 2021)



## 2.3. MARCO TEORICO

### 2.3.1. Agua

“El agua es esencial para la producción de alimentos y las actividades económicas, así como para la vida humana, la salud básica y la supervivencia” (Pacori, 2018).

“El agua es un compuesto único y vital para la vida. Es el compuesto más abundante en la naturaleza y juega un papel importante en los procesos físicos, químicos y biológicos que regulan el medio ambiente” (Garcia et al., 2001).

Indica que “el 75% de la superficie terrestre está cubierta de agua; solo el 2.5% es dulce y el 97.5% es salado. El 74% del agua dulce del mundo se encuentra en glaciares y casquetes de hielo.” Añade que “la mayoría del resto está encapsulado en la tierra en forma de humedad o se encuentra en las profundidades de la tierra. Solo el 0.3% del agua dulce del mundo se encuentra en los ríos y lagos, mientras que entre el 1 % y el 4 % corresponde al vapor de agua presente en la atmosfera. Menos del 1% del agua dulce superficial subterránea del planeta está disponible para uso humano.” (PNUMA, 2003, como se cito en Pacori, 2018)

“La naturaleza rara vez produce agua líquida pura. En realidad, el agua es una disolución de varias sales. Cuando se bebe agua, se perciben diferentes sabores debido a las sales disueltas en ella; los diferentes sabores se derivan de las sustancias disueltas. El agua se puede encontrar en tres estados diferentes en la naturaleza: solido en el hielo de los polos terrestres, liquido en los ríos, fuetes y mares y gaseoso en la atmosfera como vapor de agua. De los tres estados, solo el hielo y el vapor de agua dulce pueden considerarse agua químicamente pura. Sin embargo, en estado líquido, lo que se conoce como agua son diferentes



disoluciones naturales, que van desde aguas muy finas de manantiales de montaña con solo 0.2 gramos de sal por litro hasta 35 gramos de agua de más y 45 gramos de salmuera, pasando por aguas salobres con concentraciones entre 3 y 25 gramos por litro.” (Felix, 2020)

El agua es una necesidad básica para la vida humana, tanto para beber como para facilitar el saneamiento e higiene, así como para mantener la vida y la salud. El acceso al agua y al saneamiento es un derecho humano fundamental. Aumentar directamente el acceso a los servicios WASH no solo mejora las oportunidades educativas y la productividad de la mano de obra, sino que también ayuda a vivir con dignidad e igualdad. Los servicios WASH agregan valor de manera indirecta, ya que mejoran la salud ambiental. (UNESCO, 2021)

#### **2.3.1.1. Tipos de agua**

- **Agua Potable:** “El agua potable es el agua que, después de un tratamiento adecuado, se puede consumir sin riesgo para la salud. Es transparente, limpio, sin olores o sabores desagradables y sin contaminantes” (iAgua, 2019).
- **Agua Dulce:** “El agua dulce es aquella que se encuentra naturalmente en la superficie de la Tierra en capas de hielo, humedales, lagunas, lagos, ríos y arroyos, así como en acuíferos y corrientes bajo la superficie como agua subterránea. La falta de sales y sólidos disueltos es su característica principal” (iAgua, 2019).
- **Agua salada:** “También se conoce como agua de mar porque se encuentra en los mares y océanos de la Tierra. Se distingue por tener



una concentración de sales minerales disueltas aproximadamente del 35 %” (iAgua, 2019).

- **Agua Salobre:** “El agua con una mayor cantidad de sal disuelta que el agua dulce pero menos que el agua de mar se llama agua salobre.” “El agua salobre se define técnicamente como la que contiene entre 0,5 y 30 gramos de sal por litro. El agua salobre es común en los estuarios y también se puede encontrar en acuíferos asociados con rocas salinas.” “También se puede obtener a partir de mezclas de agua dulce y agua de mar. El término “agua salobre” se refiere a un rango de niveles de sal y no es una condición precisa. La salinidad del agua salobre puede variar significativamente a lo largo del tiempo y del lugar.” (Felix, 2020)
- **Agua Dura:** “El agua dura es aquella que tiene un alto contenido de minerales disueltos, especialmente sales de magnesio y calcio. También se conoce como agua calcárea en química” (iAgua, 2019)
- **Agua Blanda:** “El agua blanda es el agua en la que hay pocas sales disueltas. Las que tienen menos de 50 mg/l de carbonato cálcico se consideran” (iAgua, 2019).
  - **Agua Procesada:** “El agua procesada es aquella sustancia cuya composición se basa en H<sub>2</sub>O y ha sido destilada para purificar o limpiar” (iAgua, 2019).
- **Agua Subterránea:** “El agua subterránea es el agua que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones en los cursos fluviales o que puede ser recolectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje” (Ordóñez, 2011).



- **Aguas Superficiales:** “Las aguas superficiales, que se forman a partir de la escorrentía de las precipitaciones o del afloramiento de aguas subterráneas, incluyen ríos, montañas, lagos, océanos, estuarios y mares” (Collazos, 2019).
- **Aguas Residuales:** “Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está negativamente influenciada por la actividad humana. De acuerdo con la FAO, se trata de agua que no tiene valor inmediato para el propósito para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o momento en que se dispone de ella” (iAgua, 2019).
- **Aguas Negras:** “Las aguas negras son aquellos que están contaminados con heces u orina dentro de las aguas usadas” (iAgua, 2019)
- **Aguas Grises:** “Las aguas resultantes del uso doméstico se llaman aguas grises. Tienen mucho menos nitrógeno y fósforo que las aguas negras y están compuestas por materia orgánica e inorgánica y microorganismos, agrega. Deben su nombre a su aspecto turbio y su condición de estar entre el agua dulce y potable y las aguas residuales” (iAgua, 2019)
- **Agua Bruta:** “También conocido como agua cruda, no es segura para consumo humano porque no ha sido tratada y sus características físicas, químicas y microbiológicas no se han modificado.” Se pueden encontrar en diversas aguas superficiales como ríos, lagos, entre otros, o en aguas subterráneas.” (Pérez et al., 2018 como se citó en Escandón & Fernandez de Cordova, 2021)



### **2.3.2. Calidad de agua**

Indique que, “las variables fisicoquímicas o microbiológicas, así como los valores de aceptación y rechazo, determinan la calidad del agua. La calidad fisicoquímica del agua es esencial para determinar qué sustancias químicas específicas pueden tener un impacto negativo en la salud.” (OMS, 2006)

### **2.3.3. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano**

“El Decreto Supremo N° 031-2010-SA se aplica a todo el país y se aplica a todos los servicios públicos, municipales y privados, independientemente de su sistema o red de distribución, en relación a la prevención y control de la contaminación de las aguas, cualquiera sea su estado físico o químico. El Decreto Supremo N° 031-2010-SA establece los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que deben cumplirse para el agua potable para consumir.” (MINSa, 2011)

#### **2.3.3.1. Límites Máximos Permisibles de la Calidad del Agua para Consumo Humano.**

El rango de límites máximos permisibles se refiere a las medidas de concentración o grado de elementos sustanciales o parámetros físicos, químicos y biológicos que describen una emisión o efluente que, al superarlo, tiene un impacto en la salud, el bienestar humano y el entorno. (MINSa, 2011)



### **2.3.3.2. Parámetros de calidad organoléptica.**

“Los parámetros químicos que afectan la calidad visual y la apariencia del agua de consumo humano no deben superar las concentraciones o valores especificados en los anexos 4” (MINSA, 2011).

### **2.3.3.3. Parámetros de calidad organoléptica.**

“Los parámetros orgánicos e inorgánicos indicados no deben exceder los límites máximos permitidos en las aguas destinadas al consumo humano” (MINSA, 2011)

### **2.3.3.4. Parámetros de control obligatorio (PCO)**

Todos los proveedores de agua deben tener en cuenta los parámetros de control obligatorios, que incluye (MINSA, 2011):

- Coliformes totales;
- Coliformes termotolerantes;
- Color;
- Turbiedad;
- Residual de desinfectante; y
- pH

### **2.3.3.5. Parámetros adicionales de control obligatorio (PACO)**

“Estos serían incorporados a través de las actividades de vigilancia y supervisión de la cuenca o como parámetros adicionales de control (PACO) obligatorios a los Reglamento presente el en establecidos (LMP) permisibles máximos límites” (MINSA, 2011).



Parámetros microbiológicos. “Bacterias heterotróficas; virus; huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos; y organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos y nematodos en todos sus estados evolutivos” (MINSa, 2011).

Parámetros organolépticos. “Sólidos totales disueltos, amoníaco, cloruros, sulfatos, dureza total, hierro, manganeso, aluminio, cobre, sodio, zinc y conductividad” (MINSa, 2011).

Parámetros inorgánicos. “Plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cromo total, antimonio, níquel, selenio, bario, flúor, cianuros, nitratos, boro, clorito, clorato, molibdeno y uranio” (MINSa, 2011).

#### **2.3.4. Salinidad**

“La salinidad del agua está en función del tipo y de la cantidad de sales que contenga. Por la salinidad, el agua con alto contenido de sales se puede clasificar en agua potable, salobre, marina o salmueras. Por una parte, la salinidad del agua salobre estará en función de la geología del subsuelo (carbonatos, sulfatos, silicatos, etc.), mientras que la salinidad del agua marina está dada, en su mayoría, por cloruro de sodio (disociado en el catión sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el anión cloruro ( $\text{Cl}^-$ )).” (Claudio, 2018, como se citó en Félix, 2020)

“La medición de la salinidad es la cantidad de sales dispersas en el agua. Dado que la cantidad de iones liberados eleva los valores de ambas, la conductividad y la salinidad están relacionadas. La mayoría de las sales marinas son cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ )” (Cladio, 2018, como se citó en Felix, 2020).



### **2.3.5. Desalinización**

“Es el proceso de extracción del componente salino. Se utiliza principalmente para producir agua potable a partir de agua de mar o agua salobre que se encuentra en los continentes” (Felix, 2020).

“La energía se utiliza para separar agua o sal de agua salada. En un proceso de desalinización ideal, las entradas y salidas del fluido permanecen en las mismas condiciones de presión y temperatura a pesar de que se aplica calor o trabajo” (Felix, 2020).

“La desalinización es el proceso de reducir o eliminar la sal del agua. El agua de mar o el agua con salinidad pueden utilizarse como materia prima para este proceso” (Lopez y Mejia, 2000, como se citó en Castro & Cuti, 2020).

### **2.3.6. Destilación**

“La destilación es una técnica que utiliza calor para separar diferentes sustancias de una mezcla líquida utilizando diferencias de volatilidad. Se utiliza con frecuencia para purificar y aislar líquidos orgánicos, aprovechando las volatilidades y puntos de ebullición de los componentes líquidos involucrados. La destilación depende de varios factores, incluida la temperatura, la presión, la composición y la energía. El equilibrio entre el vapor y el líquido de una solución se muestra por la relación de moles de vapor y líquido a una temperatura específica. También se puede estudiar este equilibrio a través de sus presiones de vapor, que afectan las presiones de vapor y, por lo tanto, la cantidad de energía proporcionada al sistema, y también afectan.” (Felix, 2020)



“Es un método de purificación de agua muy eficaz que se ha utilizado durante mucho tiempo, que consiste en tratar el agua hasta que se evapore y luego recoger el vapor para obtener agua pura” (Montoya. 2009, como se citó en Intriago & Zambrano, 2017).

### **2.3.7. Destilación solar**

“La destilación solar es un proceso que permite purificar una solución mediante la separación del agua por evaporación y la condensación posterior del vapor. Este proceso reemplaza la energía solar por la energía tradicional.” Indica que “cuando el soluto no es volátil en las condiciones predominantes, la destilación se completa evaporando el solvente en una parte de la bandeja y condensando en otra parte. Los dispositivos que permiten la desalación se denominan destiladores.” (McCabe, 1991, como se citó en Félix, 2020)

La destilación solar es un proceso que evapora las aguas salobres del mar a través de la evaporación, utilizando energía pasiva de la radiación solar y utilizando el efecto invernadero. La única fuente de energía necesaria para el proceso de destilación solar es el sol. Durante el funcionamiento del destilador solar, las condiciones de equilibrio térmico lo mantienen a una temperatura más baja que la de la mezcla vapor-aire. (Felix, 2020)

### **2.3.8. Evaporación**

Es el proceso por el cual la energía calórica se transfiere del estado líquido o sólido al estado gaseoso al pasar del estado líquido al estado gaseoso. La evaporación es un proceso crucial en el ciclo hidrológico, ya que entre el 70% y el 75% de la precipitación anual total retorna a la atmósfera por evaporación y transpiración a nivel continental. La pérdida de agua por evaporación en ríos,



canales y equipos de almacenamiento de agua a cielo abierto es crucial en climas cálidos porque la evaporación detrae una parte significativa del suministro total de agua. (Intriago & Zambrano, 2017)

“Es producido por materias en suspensión finamente divididas, una expresión de la propiedad óptica que hace que la luz se disperse y absorba en lugar de pasar a través de la muestra de manera recta” (ACRSA, 2013, como se citó en Intriago & Zambrano, 2017).

### **2.3.9. Condensación**

La presión de un vapor aumenta hasta ser mayor a su presión de saturación a una temperatura dada, o la temperatura de un vapor disminuye hasta ser menor a su temperatura de saturación a una presión dada. Esta segunda situación ocurre con frecuencia cuando el vapor entra en contacto con una superficie que tiene una temperatura menor a la temperatura de saturación del vapor. (Flores, 2021)

La condensación en película y por gotas tiene dos formas:

Debido a las diferencias de temperatura y propiedades físicas del agua, la condensación por gotas es importante para este trabajo porque el vapor de agua en los destiladores solares se condensa en gotas cuando se encuentra con la cubierta de vidrio. Una vez que las gotas alcanzan un cierto tamaño, las gotas descienden por la cubierta hasta las canaletas, donde se recolecta y extrae el agua procesada. (Flores, 2021)



### **2.3.10. Radiación solar**

“La radiación solar es la transferencia de energía mediante ondas electromagnéticas. Para propagarse, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol” (Intriago & Zambrano, 2017).

## **2.4. MÉTODOS DE DESALACIÓN DE AGUA DE MAR**

Aunque hay una variedad de técnicas disponibles para lograr la desalinización del agua de mar, no todas son adecuadas para satisfacer el mismo objetivo. Sin embargo, el objetivo sigue siendo el mismo: producir agua dulce como subproducto del agua de mar. Algunas de las opciones son:

### **2.4.1. Destilación súbita por efecto flash (MSF).**

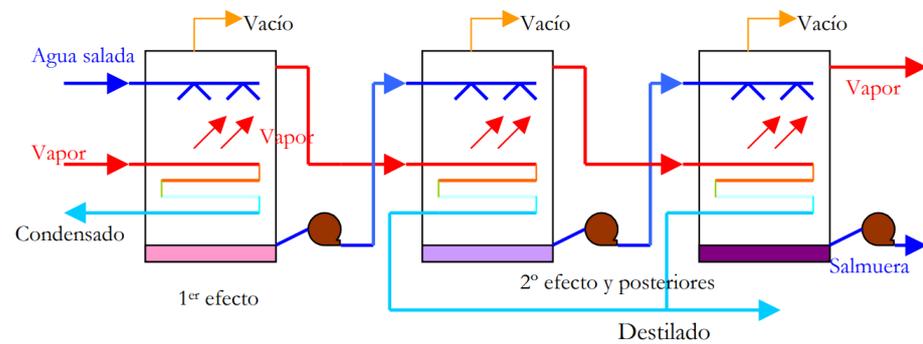
Indica que “el primer proceso desalador por destilación digno de mención es el proceso de destilación súbita por efecto flash. El proceso de destilación resulta en la evaporación del agua para producir vapor que no contiene sales (estas son volátiles a 300 °C).” “El vapor se condensa luego dentro o fuera de los tubos de la instalación. Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que requieren un sistema de vacío (bombas o eyectores), además de extraer aire y gases no condensables.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

Por lo general, “la utilización de una cámara flash permite una evaporación repentina (y, por lo tanto, irreversible) antes de la condensación. En la mayoría de los casos, la cámara flash se encuentra en la parte inferior de un condensador de vapor producido por la cámara. Como resultado, las etapas en cascada se unen sucesivamente a diferentes presiones para obtener la recuperación de calor



**Figura 2**

*Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales (HFF)*



Normalmente “una turbina de contrapresión (o extracción de una de condensación) proporciona vapor externo a la primera etapa. Un condensador final precalienta el agua de aportación al sistema para recolectar el agua dulce en la última etapa. Como resultado, las plantas MED y MSF forman sistemas de cogeneración consumiendo una parte de la energía destinada previamente a la producción de energía eléctrica.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

“La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La industria azucarera utiliza constantemente destiladores de múltiple efecto, aunque en este caso el propósito no es obtener destilado sino concentrar mezclas de otra naturaleza a la estudiada aquí.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

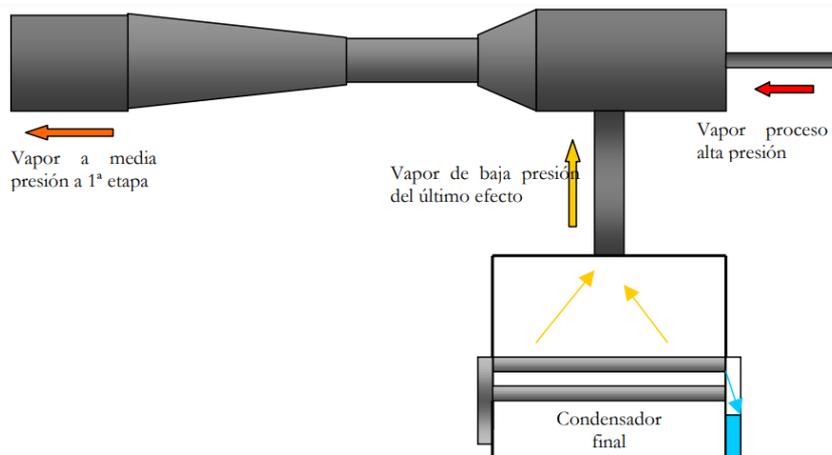
### **2.4.3. Compresión térmica de vapor (TVC)**

La compresión térmica de vapor (TVC, Thermal Vapor Compression) El agua procesada se obtiene mediante el mismo método que la destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica diferente. Los compresores térmicos, también conocidos como termocompresores, consumen vapor de media presión de la planta de producción eléctrica (si tenemos una planta

dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido específicamente para este propósito) y succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiendo así el agua. (Valero, Uche, & Serra, 2001)

**Figura 3**

*Esquema típico del termocompresor acoplado a una planta TVC con HFF*



#### **2.4.4. Congelación**

Según “este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce, independientemente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo, hay problemas de adaptación para su implantación a una escala industrial porque el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para separar los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

#### **2.4.5. Destilación por membranas**

“Es una operación que combina la evaporación y la filtración. El agua salada bruta se calienta para aumentar la producción de vapor. Para hacerlo, se

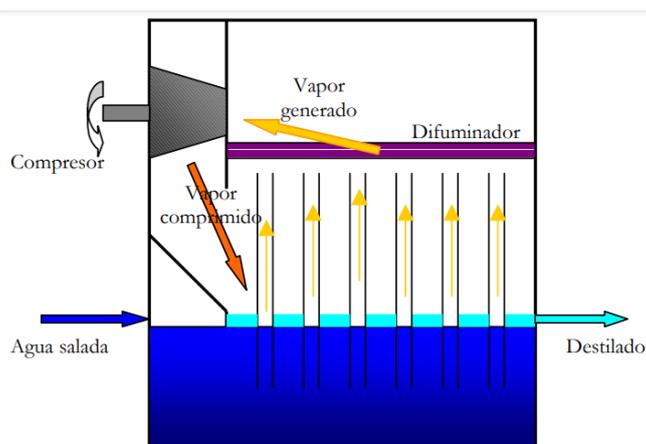
expone a una membrana que permite el paso de vapor, pero no del agua. El vapor se condensa sobre una superficie más fría después de pasar por la membrana para generar agua desalada. Esta agua, en estado líquido, se recoge y conduce hacia la salida porque no puede retroceder atravesando la membrana.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

#### 2.4.6. Compresión mecánica de vapor (CV)

En la compresión mecánica de vapor (CV), un líquido, en este caso el agua salada, se evapora en un lado de la superficie de intercambio y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado, lo que permite mantener el ciclo de destilación de agua, evitando así las pérdidas del proceso y aumentando la temperatura de ebullición del agua salada en comparación con la temperatura de ebullición del agua pura (Boiling Point Elevation, BPE). (Valero, Uche, & Serra, 2001)

**Figura 4**

*Diagrama de la compresión de vapor (CV) con evaporador de tubos verticales (VTE)*



El esquema siguiente muestra un compresor de vapor conectado a un intercambiador de tubos verticales (VTE) de una sola etapa. Simplificando todos los

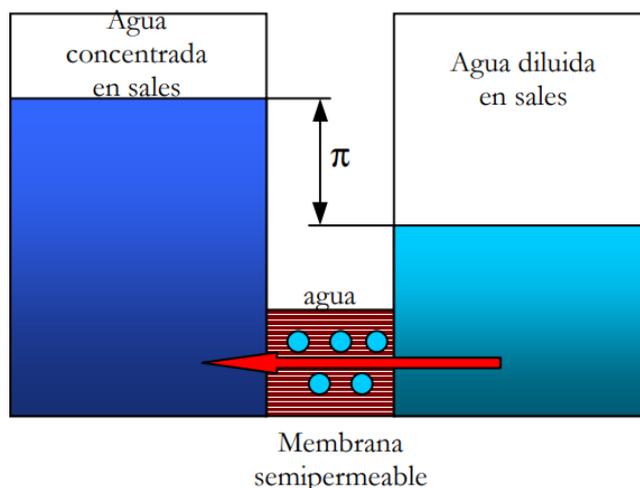
componentes auxiliares, podemos ver que el vapor interior de los tubos se comprime en un compresor volumétrico especial para trasegar vapor a una presión atmosférica de aproximadamente 0,2 bares (un sobrecalentamiento de aproximadamente 5 °C). En la parte inferior de los tubos del intercambiador, una bomba recoge el vapor ligeramente sobrecalentado que se condensa. Como se puede ver, si el proceso fuera ideal, solo deberíamos superar la BPE para mantener el proceso, aunque no es posible en realidad debido a las pérdidas de calor y presión, las fricciones en las bombas de circulación, etc.). (Valero, Uche, & Serra, 2001)

#### 2.4.7. Osmosis inversa

Indica que “la ósmosis es un proceso natural que se produce tanto en plantas como en animales. Cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana semipermeable (que permite el paso de agua, pero no de sales), se produce una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, lo que resulta en una diferencia de presión llamada osmótica.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

**Figura 5**

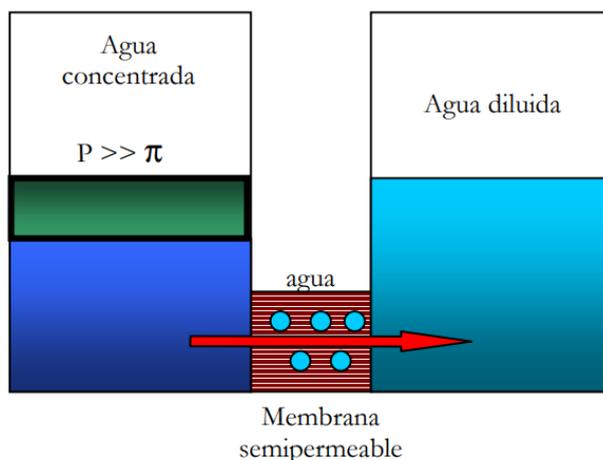
*Proceso natural de Osmosis.*



Sin embargo, “se puede invertir el proceso aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución en comparación con otra. Esto hace que el agua de la disolución más concentrada circule y purifique el área con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza aceptable, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por lo tanto, es muy recomendable para filtrar aguas salobres porque la cantidad de sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas. La cantidad de agua permeada depende de la diferencia de presión aplicada a la membrana, sus características y la concentración del agua bruta. La calidad del agua permeada suele estar entre 300 y 500 ppm de TDS, lo que es un orden de magnitud mayor que el agua obtenida durante el proceso de evaporación.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

### Figura 6

#### *Proceso de osmosis inversa*



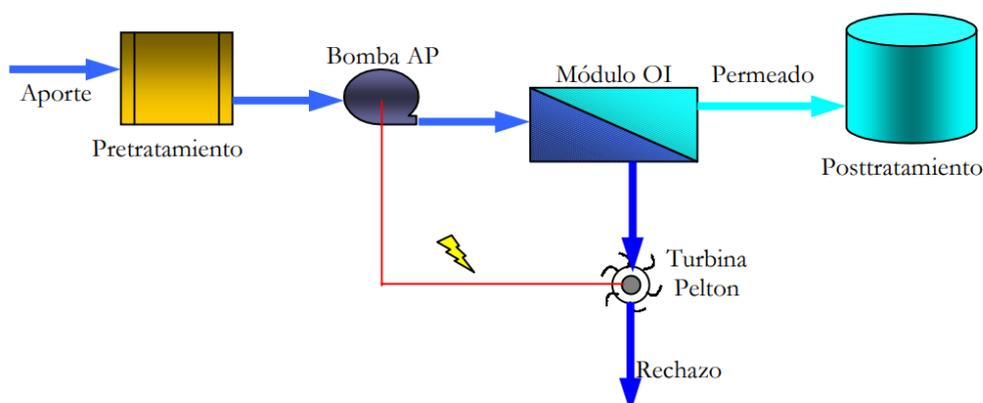
Por lo general, “para lograr la osmosis inversa, una membrana debe soportar presiones significativamente mayores que la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo, un agua bruta con 35.000 ppm de TDS a 25oC tiene una presión osmótica de aproximadamente 25 bar; sin embargo,

para que el agua sea permeada, se requieren 70 bar). Además, debe ser permeable al agua para permitir el flujo y evitar la presencia de un alto porcentaje de sales. Dado que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular, la OI no se puede considerar un proceso de filtración normal. Esto significa que solo un pequeño porcentaje del agua bruta de alimentación pasa a través de la membrana (lo que sería completado por un proceso de filtración), y que al agua bruta que no pasa por la membrana, no se acumulan sales.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

“El proceso de ósmosis inversa es tan sencillo que solo se requieren membranas que filtren el contenido salino y dispositivos presurizadores al principio. Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas. Por ejemplo, las membranas se ensucian fácilmente con la operación continuada y requieren un pretratamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

### Figura 7

#### *Desalación por osmosis (OI) con turbina Pelton incorporada*



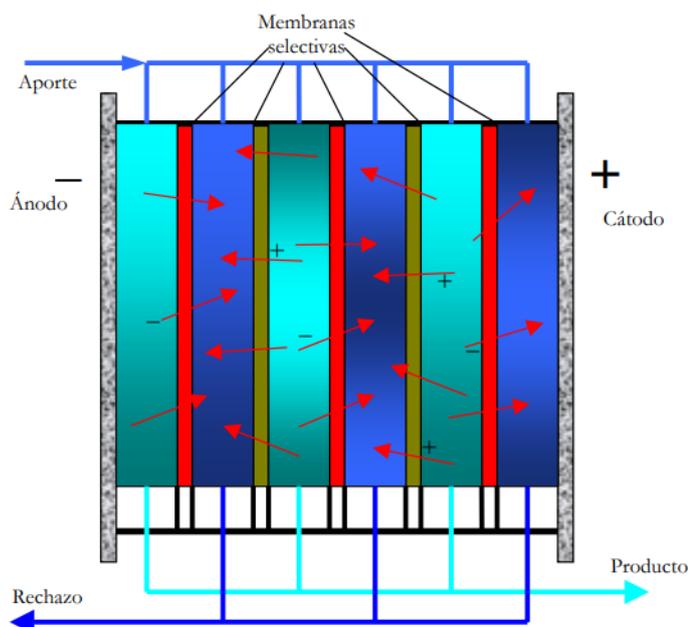
#### 2.4.8. Electrodiálisis (ED)

A través de la aplicación de campos eléctricos con diferencias de potencial sobre los electrodos y el uso de membranas selectivas, que permiten que los iones de diferente signo se muevan en diferentes direcciones, este proceso permite la desmineralización de aguas salobres. (Valero, Uche, & Serra, 2001)

La figura ilustra mejor el proceso, “en el que los iones se dirigen a los espacios atraídos por los electrodos del signo contrario, lo que deja en cubas paralelas el agua pura y en las otras el agua salada más concentrada. Es un proceso que solo puede separar sustancias ionizadas, por lo que solo es útil para el tratamiento de aguas salobres o la reutilización de aguas residuales. Tiene un consumo específico y mantenimiento similar en muchos casos de la ósmosis inversa.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

**Figura 8**

*Proceso de electrodiálisis*





#### **2.4.9. Intercambio iónico**

“Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles que, si se ponen en contacto con sal disuelta, pueden intercambiar iones. Las resinas aniónicas sustituyen los aniones del agua por iones OH<sup>-</sup> (permutación básica), mientras que las resinas catiónicas sustituyen los cationes por iones H<sup>+</sup> (permutación ácida).” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

#### **2.4.10. Destilación solar**

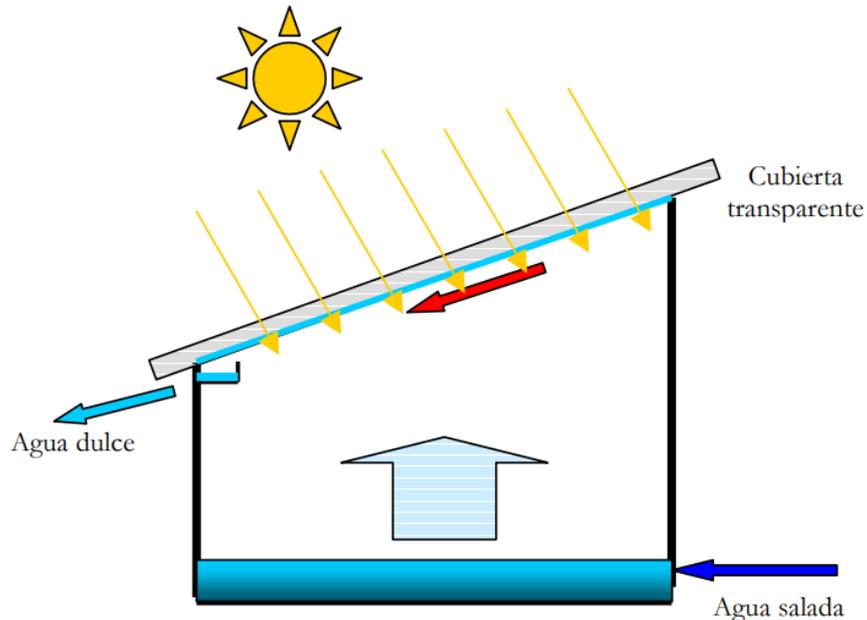
“En áreas áridas y muy aisladas del resto de la población, la energía solar es el método ideal para producir agua. Aunque no requiere mucha inversión y tiene un costo energético nulo, su rentabilidad es baja debido a su baja producción por metro cuadrado de colector, al destilarse solo unos litros al día en condiciones climáticas favorables. Como resultado, no se han desarrollado a gran escala en áreas con un alto consumo de agua dulce.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

“La destilación por colectores es solo una de las muchas formas en que la energía solar puede usarse para producir agua dulce. El efecto invernadero se basa en que el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo reposa agua salada. Una parte de esta agua salada se evapora y se condensa en la superficie interior del vidrio debido a la radiación solar y otros factores, como la velocidad del viento (que enfría el vidrio exterior). Las gotas caen en un canal que recoge el condensado mientras el vidrio está inclinado, evitando que vuelva a caer en la lámina inferior de salmuera durante el proceso de condensación. Aunque existen métodos para concentrar los rayos solares mediante la utilización de lentes o espejos (parabólicos o lisos), estos no suelen

compensar las mayores pérdidas de calor que conlleva y su mayor costo económico.” (Valero, Uche, & Serra, 2001)

### Figura 9

*Esquema de un colector solar para destilación solar.*



#### 2.4.11. Tipos de destiladores solares

##### 2.4.11.1. Destilador solar de una vertiente o tipo caseta

“Este modelo tiene una caja con un cristal inclinado. La caja, también conocida como destilador solar de una vertiente, está dividida en dos áreas. Uno, con un fondo negro, ocupa la mayor parte de la caja y es el receptáculo donde se recoge el agua procesada, que está en el lado de menor altura. Algunos fabricantes los llaman “células solares destiladoras” porque pueden conectarse entre sí para ampliar la instalación.” (Felix, 2020)

**Figura 10**

*Destilador solar de una sola vertiente.*



#### **2.4.11.2. Destilador solar de dos vertientes**

“Este modelo tiene un "tejado" de dos vertientes de material transparente. Las gotas de agua que se han condensado en el panel transparente se deslizan por los lados y precipitan a un depósito bajo la bandeja donde se encuentra el agua para destilar. Un grifo extrae agua del depósito de almacenamiento.” (Felix, 2020)

**Figura 11**

*Destilador solar de dos vertientes*

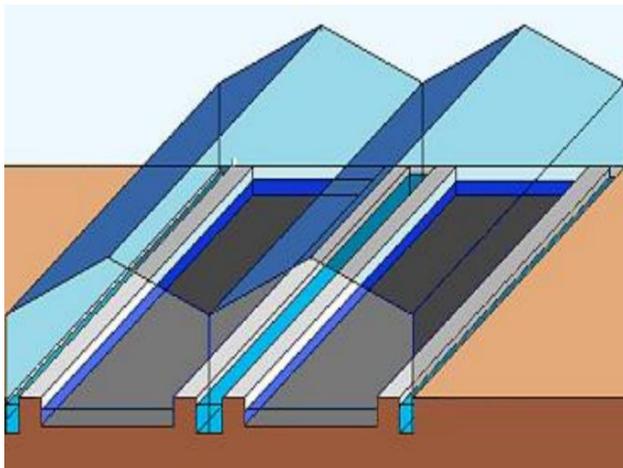


### 2.4.11.3. Destilador solar de invernadero

“Este es un modelo grande de destilador solar. Se trata de invernaderos que albergan un estanque de agua de poca profundidad con un fondo negro. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se desliza hacia los receptáculos en la base. El destilador solar de dos vertientes, pero de grandes dimensiones, es básicamente el mismo modelo.” (Felix, 2020)

**Figura 12**

*Destilador solar de invernadero*

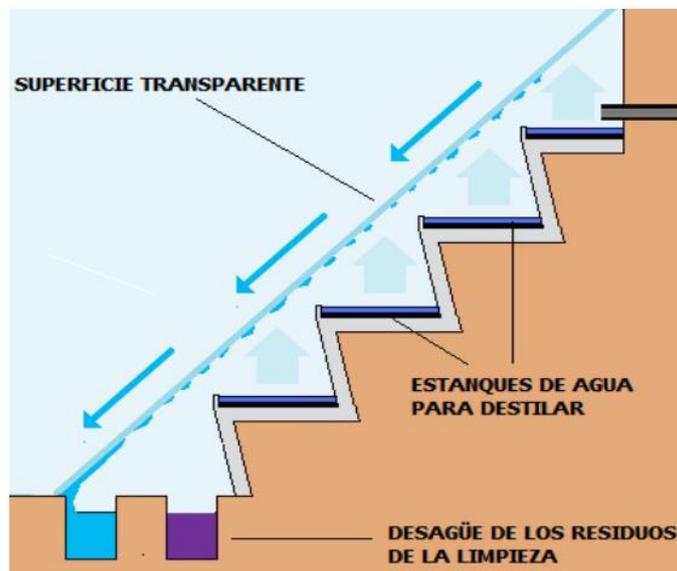


### 2.4.11.4. Destilador solar de cascada

Consta de terrazas, cada una de las cuales tiene estanques con fondo negro llenos de agua para destilar. El destilador comienza a evaporarse cuando entra la radiación solar. El agua en estado gaseoso se condensa en una superficie transparente inclinada en las terrazas y se desliza hacia el receptáculo en la parte baja del destilador. (Chillon & Deza, 2014)

**Figura 13**

*Destilador solar de cascada*



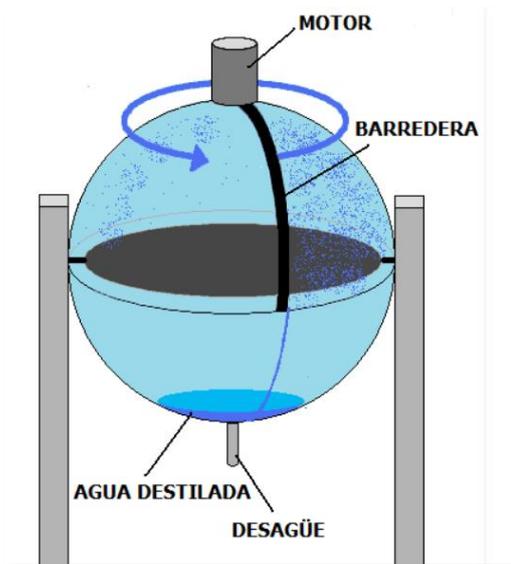
#### **2.4.11.5. Destilador solar esférico de barredera.**

“La forma esférica del material transparente y la introducción de una barredera que lame su cara interna, que está accionada por un pequeño motor, dan forma a este modelo. En la parte central de la esfera, se coloca el agua a destilar en una bandeja con fondo oscuro.” Añade también que “la forma esférica de este modelo tiene como objetivo aumentar la captación solar al evitar las sombras que pueden producir algunos componentes del destilador en otros. Además, la forma esférica permite un mayor aprovechamiento del calor producido por la energía solar al mantener una mayor inercia térmica.” “Las gotas que se forman en el interior de la esfera son arrastradas por la barredera, que las junta y las precipita hacia la parte baja donde se acumulan debido a la gravedad. El sistema de barredera facilita la condensación del agua en estado gaseoso en las paredes y evita que las gotas reflejen la radiación solar. Estos

elementos mejoran el funcionamiento del dispositivo, aunque es cierto que es necesario proporcionar energía eléctrica para permitir el movimiento de la barredera.” (Felix, 2020)

**Figura 14**

*Destilador solar esférico de barredera*

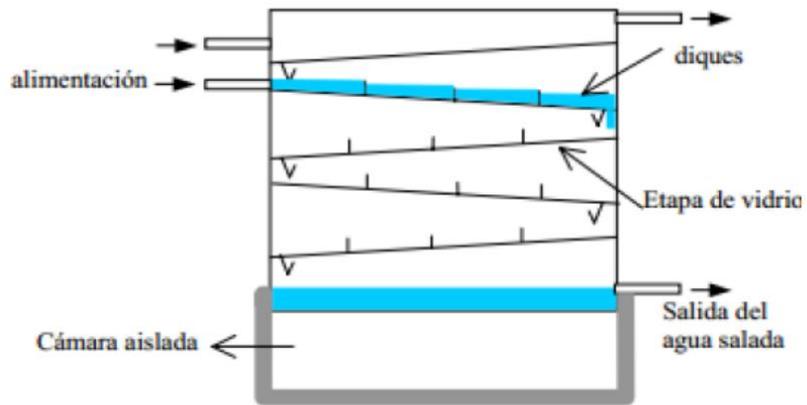


#### **2.4.11.6. Destilador solar multietapa.**

“Este es un modelo más complejo y eficiente que utiliza sistemas de captadores solares complejos, concentradores parabólicos, tubos de vacío e incluso sistemas de placa plana de alta eficiencia para alcanzar altas temperaturas y llevar al punto de ebullición al agua. Con un refrigerante, el vapor de agua se condensa y el calor se recupera y almacena en depósitos. El sistema necesita ya de inversiones significativas.” (Sitio Solar, s.f., como se citó en Sabando, 2017)

**Figura 15**

*Procesos de destilación multiefecto (MED).*





## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Existe una amplia gama de clasificaciones y modelos. Sin embargo, la precisión de los criterios de clasificación es crucial. En este sentido, los tipos de investigación se clasifican según su nivel, diseño y propósito. Sin embargo, independientemente de su clasificación, todos son tipos de investigación, y al no ser excluyentes, un estudio puede clasificarse en más de una categoría. (Arias, 2012)

##### 3.1.1. Nivel de investigación

“El nivel de investigación se define como la profundidad con la que se estudia un fenómeno o estudio” (Arias, 2012).

“Nivel de estudio Descriptivo: tiene como objetivo especificar las propiedades, características y perfiles de las personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se somete a un análisis para establecer su estructura o comportamiento.” (Arias, 2012).

El enfoque cuantitativo de este estudio utiliza la recolección de datos para probar hipótesis y establecer patrones de comportamiento mediante el análisis estadístico. guiarse por el contexto, la situación, los recursos, sus objetivos y el tema de estudio.

El nivel realizado fue de tipo descriptivo porque se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico antes y después del análisis del agua subterránea salada para determinar la calidad del agua para consumo humano.



### **3.1.2. Diseño de investigación**

“El diseño de la investigación es experimental y se utilizará un destilador solar para manipular la variable independiente, el agua subterránea salada, para observar los cambios de agua antes y después del tratamiento para buscar un mejor resultado.”

### **3.1.3. Población y muestra**

#### **3.1.3.1. Población**

La población está constituida por las aguas subterráneas saladas en la parcialidad de Sacasco I Sector Saquiata del distrito de Taraco, Provincia de Huancané y departamento de Puno.

#### **3.1.3.2. Muestra**

Se tomará la muestra de un pozo de 3.5 m de profundidad para realizar los respectivos análisis del agua salada y agua procesada a través del destilador solar.

## **3.2. VARIABLES A MEDIR**

### **3.2.1. Variable independiente**

“Es llamada también variable de estímulo, de entrada, o input, e incluso causal o experimental porque es manipulada por el investigador. Su origen puede encontrarse en el objeto de estudio o en su entorno” (Rodríguez, Breña, & Esenarro, 2021).

Agua subterránea salada



### 3.2.2. Variable dependiente

“Se llama también de efecto o de acción condicionada y se utiliza para caracterizar el problema estudiado. Es el fenómeno o situación que se explica; es decir, es la respuesta (o efecto) afectada por la presencia o acción de la variable independiente” (Rodríguez, Breña, & Esenarro, 2021).

Calidad de agua

## 3.3. ÁNGULO DE INCLINACIÓN PARA CUBIERTA DE VIDRIO

### 3.3.1. Angulo de inclinación de la cubierta de vidrio.

Las recomendaciones de los autores se utilizaron para determinar el ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio.

Según (PUPPO, 1999 como lo cito Huevo & Moran, 2012) indica que “el ángulo de inclinación de la cubierta  $45^\circ$  reduce las pérdidas por radiación)”

(Huevo & Moran, 2012) En su trabajo de investigación de “Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela Ingeniería Química” recomienda “Para aumentar la velocidad del agua condensada en el vidrio, debe de tener una inclinación de la cubierta de vidrio a  $45^\circ$ .”

Según (Ruiz, 2002, como lo cito Polo & Perez, 2020) indica que con “Un destilador con una vertiente de 40 cm x 1.60 m producía 1.6 lt al día. Las cubiertas de vidrio se colocaron en un ángulo mayor de  $45^\circ$  y se observó que la producción de estas unidades era mayor que la de las cubiertas con una pendiente de cerca de  $15^\circ$ .”



El ángulo de inclinación de la cubierta de vidrio del destilador solar será de 45°.

### **3.4. MATERIALES**

#### **3.4.1. Materiales para procesamiento de datos**

- 01 laptops personal
- Programas: Software Microsoft Word, Microsoft Excel, ArchiCAD.
- Localización de puntos para realizar los análisis de agua.

#### **3.4.2. Materiales de muestreo de agua subterránea salada y agua procesada**

##### **3.4.2.1. Materiales para muestreo de Agua subterránea**

- 09 envases esterilizados enviados por BHIOS LABORATORIOS
- 01 Coolers (Caja de protección) enviados por BHIOS LABORATORIOS
- 2 envases de 1 litro enviados al laboratorio de Ing. química de la UNAP
- 01 Par de guantes quirúrgicos
- Mascara quirúrgica
- Mandil
- Cámara fotográfica
- Balde de 20 lit
- Flexómetro de 5m

##### **3.4.2.2. Materiales para muestreo Agua procesada**

- 09 envases esterilizados enviados por BHIOS LABORATORIOS



- 09 envases esterilizados enviados por PACIFIC CONTROL
- 2 envases de 1 litro enviados al laboratorio de Ing. química de la UNAP
- 02 Coolers (Caja de protección)
- Termómetro de laboratorio
- 01 Par de guantes quirúrgicos
- Mascara quirúrgica
- Mandil
- Cámara fotográfica
- 1 Tubo de PVC de ½” x 6 metros
- 2 Codos de PVC de 90° de ½”
- 3 Uniones simple de PVC de ½”
- 2 Uniones universal CPVC de ½”
- 6 Niple PVC de ½”
- 1 llave de paso de PVC de ½”
- 1 Bandeja de aluminio de 1m x 0.7m x 0.15m
- 1 Bandeja de aluminio de 1m x 0.7m x 0.07m
- 2 Láminas de vidrio de 6 mm rectangular de dimensiones 0.70m x 0.49m
- 2 Láminas de vidrio de 6 mm triangular para las tapas de dimensiones 0.70m x 0.49m x 0.49m
- Soporte de fierro negro para los vidrios
- Mesa de fierro para soportar el techo de vidrio
- Envase para almacenar agua salada (bidón) de 35 lt
- Recipiente para la obtención de agua procesada (balde) de 5 lt

- Recipiente para el almacenamiento de agua procesada (balde) de 15 lt
- Jebe de 1”
- Silicona
- Cinta teflón
- Abono (estiércol de vacuno)
- Pintura anticorrosiva y pintura esmalte

### 3.5. METODOLOGIA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.5.1. Ubicación

El proyecto se encuentra en la Parcialidad de Sacasco I Sector Saquita del distrito de Taraco, provincia de Huancané y departamento de Puno, a 8 548 metros desde la plaza de armas del distrito de Taraco.

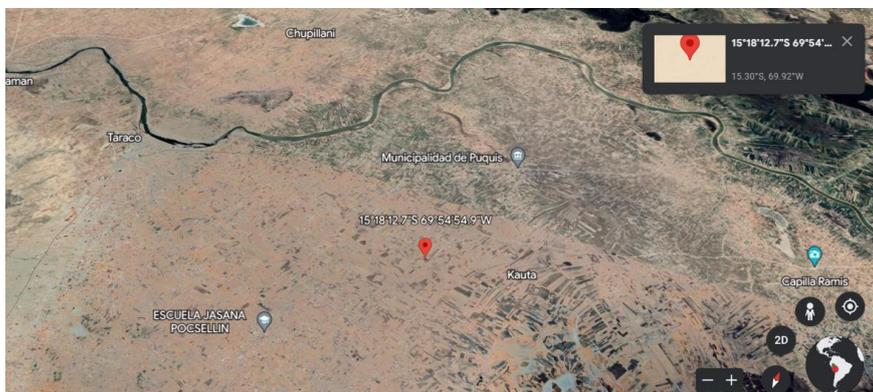
Latitud Sur: 15°18'12.7"S

Longitud Oeste: 69°54'54.9"W

Altitud: 3819 m.s.n.m.

#### Figura 16

*Ubicación del lugar del proyecto*



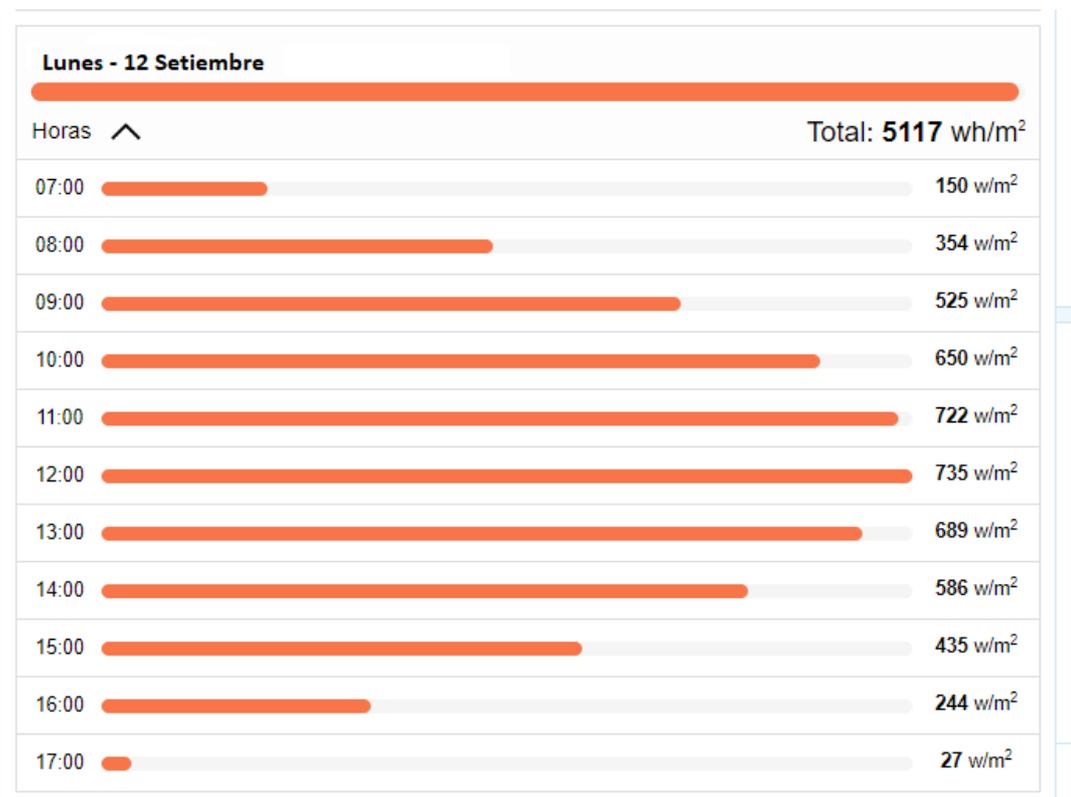
### 3.5.2. Radiación Solar en Puno

En la región puno se puede conocer el pronóstico de la radiación solar prevista, como podemos observar las radiaciones máximas diarias en la región puno son a las 12:00 pm.

En el trabajo de investigación tomaremos la hora de la radiación máxima que es 12:00pm para realizar las mediciones de temperatura, mediciones del volumen de agua. (Tutiempo.net, 2022)

#### Tabla2

##### *Radiación máxima región Puno*



### 3.5.3. Simulación del destilador solar

**Figura 17**

*Simulación del destilador solar*



**Figura 18**

*Simulación del destilador solar*



### 3.5.4. Procedimiento de construcción del destilador solar

El destilador solar está elaborado por una estructura metálica que soportará todo el peso del equipo, se colocó 2 bandejas de aluminio donde almacenará el estiércol de vacuno y el agua subterránea salada como se muestra en la figura.

#### Figura 19

*Se observar la estructura completa del destilador solar*



Seguidamente se realizó la instalación de los accesorios de agua necesarios tanto para la entrada de agua subterránea salada como para la salida de agua procesada

Se colocó la cubierta de vidrio de 6 mm en la cubierta de vidrio y finalmente se acoplo las canaletas de aluminio en el vidrio, con una pendiente hacia la salida de agua procesada.

## Figura 20

### *Estructura final del prototipo*



Se puede observar el prototipo destilador solar terminado para iniciar con el procedimiento de destilación natural mediante la energía solar para la obtención de agua procesada.

### **3.5.5. Funcionamiento del prototipo**

El trabajo de investigación se evaluó durante 4 semanas desde el 12 de setiembre hasta el 09 de octubre del 2022 donde se realizaron análisis al agua procesada por el destilador solar, medición de la cantidad de volumen de agua procesada en (l/día) y la medición de la temperatura en grados Celsius (C°). Las mediciones diarias se realizaron cada 24 horas a una hora determinada; en el caso de este estudio se ha fijado en las 12 del mediodía porque la radiación solar máxima en Puno es a las 12:00 pm. Asimismo, una vez obtenida una muestra representativa del agua procesada se llevó a un laboratorio acreditado por INACAL BHIOS Laboratorio y PACIFIC Control, para su respectivo análisis de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.

Se colocó el estiércol de vacuno en la bandeja de aluminio como un mejoramiento al equipo con la finalidad de que este material ayude generar calor en épocas de invierno o en épocas donde las temperaturas son bajas en la zona.

### Figura 21

*Colocación de estiércol de vacuna para generar calor*



La operatividad de este equipo es el abastecimiento de agua subterránea salada mediante un tanque de almacenamiento de 5 gln, el cual ingresa a la bandeja del destilador solar por medio de las instalaciones de accesorios.

### Figura 22

*Abasteciendo agua subterránea salada al prototipo*



Luego de terminar de ingresar el agua subterránea salada a la bandeja posteriormente se tiene que cerrar la llave de paso para que el destilador solar este herméticamente cerrado, para que no pueda existir fugas de vapor de agua ni de aire. Exponer al sol de forma continua durante todo el día para completar el proceso de destilación en 24 horas.

El agua de la bandeja se evapora como resultado de los rayos del sol, mientras que el vapor de agua del prototipo choca con el vidrio debido a la evaporación del agua.

El agua evaporada se condensa y se convierte en líquido cuando cae por las canaletas de aluminio al entrar en contacto con el vidrio. Finalmente, el agua procesada se traslada al recipiente donde se determina la cantidad de agua procesada en un día.

### **Figura 23**

*Se observa la evaporación del agua.*



Finalmente, reunir la cantidad adecuada de agua procesada obtenida a través del destilador solar, para su posterior evaluación en los laboratorios de agua para determinar los parametros microbiológicos y fisicoquímicos.

## Figura 24

*Sales obtenidas después del tratamiento*



Se puede observar que después de su tratamiento mediante el equipo de destilador solar quedan residuos de sales y otros minerales que quedan dentro de la bandeja de aluminio donde se almacena el agua subterránea salada, para lo cual se debe de realizar una limpieza para no acumular dichos residuos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **4.1. RESULTADOS DE LA ALTERNATIVA DE DESALINIZACIÓN DE AGUA SUBTERRANEA SALADA, CONSTRUYENDO UN DESTILADOR SOLAR PARA LA OBTENCION DE AGUA ATA PARA CONSUMO HUMANO – DISTRITO TARACO 2022.**

Se realizó el análisis de la calidad de agua procesada mediante el destilador solar en el laboratorio de agua, BHIOS laboratorio de la muestra M – 02 de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos teniendo como resultados no aptos para consumo humano ya que sobrepasan los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-S.A.”

Seguidamente se realizó otro análisis de agua procesada en el laboratorio PACIFIC Control la muestra M - 03 de los parámetros físico – químicos, inorgánicos y microbiológicos, teniendo como resultados aptos para consumo humano ya que están dentro de los “Límites Máximos Permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

El destilador solar sería una alternativa para solucionar la escasez de agua para consumo en lugares alejados, donde las posibilidades de contar con agua para consumo son mínimas, pero teniendo una gran cantidad de agua para realizar un tratamiento de una rápida solución y económica

#### 4.1.1. Resultados del análisis de agua procesada de las muestras M-02, M-03

- Físico - Químico

**Tabla 3**

*Resultados del análisis Físico - Químico de la muestra M-02*

LAB	DETERMINACIÓN	M-02	UNIDADES
FQ	Sólidos Disueltos Totales	55	mg/L
FQ	Turbidez	2.61	NTU
FQ	Sabor	Aceptable	---
FQ	pH	7.6	U de pH
FQ	Sensorial Olor	Aceptable	---
FQ	Nitrógeno (Amoniac) ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )	9.15	mg/L
FQ	Dureza Total (como $\text{CaCO}_3$ )	5.23	mg/L
FQ	Conductividad (25°C)	107	$\mu\text{S/cm}$
FQ	Cianuro Total	<0.01	mg/L
FQ	Color	<5	U de color

**Tabla 4**

*Resultados del análisis Físico - Químico de la muestra M - 03*

LAB	DETERMINACIÓN	M-03	UNIDADES
FQ	Sólidos Disueltos Totales	74	mg/L
FQ	Turbidez	0.51	NTU
FQ	Sabor	-	---
FQ	pH	-	U de pH
FQ	Sensorial Olor	-	---
FQ	Nitrógeno (Amoniac) ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )	<0.06	mg/L
FQ	Dureza Total (como $\text{CaCO}_3$ )	44	mg/L
FQ	Conductividad (25°C)	114	$\mu\text{S/cm}$
FQ	Cianuro Total	-	mg/L
FQ	Color	-	U de color



**Tabla 5**

*Resultados del análisis Físico - Químico de los Metales Totales de la muestra M - 02*

<b>LAB</b>	<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>M-02</b>	<b>UNIDADES</b>
FQ	Aluminio	0.49	mg/L
FQ	Arsénico	0.00015	mg/L
FQ	Boro	0.032	mg/L
FQ	Bario	0.0032	mg/L
FQ	Cadmio	0.00002	mg/L
FQ	Cobre	<0.001	mg/L
FQ	Hierro	0.127	mg/L
FQ	Mercurio	<0.0005	mg/L
FQ	Manganeso	0.0281	mg/L
FQ	Molibdeno	<0.0001	mg/L
FQ	Sodio	0.77	mg/L
FQ	Niquel	0.0012	mg/L
FQ	Plomo	<0.0002	mg/L
FQ	Antimonio	<0.0001	mg/L
FQ	Selenio	<0.0001	mg/L
FQ	Uranio	0.00002	mg/L
FQ	Zinc	0.008	mg/L

**Tabla 6**

*Resultados del análisis Físico - Químico de los Metales Totales de la muestra M - 03*

<b>LAB</b>	<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>M-03</b>	<b>UNIDADES</b>
FQ	Aluminio	<0.003	mg/L
FQ	Arsénico	<0.008	mg/L
FQ	Boro	<0.008	mg/L
FQ	Bario	-	mg/L
FQ	Cadmio	-	mg/L
FQ	Cobre	-	mg/L
FQ	Hierro	<0.003	mg/L



LAB	DETERMINACIÓN	M-03	UNIDADES
FQ	Mercurio	-	mg/L
FQ	Manganeso	<0.003	mg/L
FQ	Molibdeno	-	mg/L
FQ	Sodio	10.1	mg/L

**Tabla 7**

*Resultados del análisis Físico - Químico de los Aniones Oxalidos de la muestra M - 02*

LAB	DETERMINACIÓN	M-02	UNIDADES
FQ	Clorato	0.1	mg/L
FQ	Clorito	0.1	mg/L

**Tabla 8**

*Resultados del análisis Físico - Químico de los Aniones de la muestra M - 02*

LAB	DETERMINACIÓN	M-02	UNIDADES
FQ	Cloruro	1.44	mg/L
FQ	Fluoruro	0.03	mg/L
FQ	Nitrato	0.1	mg/L
FQ	Sulfato	2.09	mg/L

**Tabla 9**

*Resultados del análisis Físico - Químico de los Aniones de la muestra M - 03*

LAB	DETERMINACIÓN	M-03	UNIDADES
FQ	Cloruro	<4	mg/L
FQ	Fluoruro	-	mg/L
FQ	Nitrato	-	mg/L
FQ	Sulfato	<3	mg/L



Los parámetros físicos – químico de la muestra M – 02 que no cumplen con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” son Nitrógeno y Aluminio.

El análisis del agua procesada de los parámetros físico – químico de la muestra M - 03 cumplen con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

- Microbiológicos

**Tabla 10**

*Resultados del análisis microbiológico de la muestra M-02*

LAB	DETERMINACIÓN	M-02	UNIDADES
MB	OVL-Algas	<1*	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	22000	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	<1.8*	NMP/100mL
MB	Recuento de Microorganismos Heterótrofos	360000	ufc/mL
MB	Huevos de Helminetos	<1*	Huevos/L
MB	OVL-Protozoarios	344530	Org./L
MB	Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	<1*	Quistes/L
MB	Larvas de Helminetos	<1*	Org./L
MB	OVL-Rotíferos	<1*	Org./L
MB	OVL-Copépodos	<1*	Org./L
MB	OVL-Nemátodos	<1*	Org./L
MB	Numeración de Escherichia coli	<1.8*	NMP/100mL
MB	Deteccion de Colifagos (Virus)	-	UFC/ml

Nota: \*<, Equivale Ausencia (cero)

**Tabla 11***Resultados del análisis microbiológico de la muestra M-03*

LAB	DETERMINACIÓN	M-03	UNIDADES
MB	OVL-Algas	0	Org./L
MB	Numeración de Coliformes totales	<1.1*	NMP/100mL
MB	Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	<1.1*	NMP/100mL
MB	Recuento de Microorganismos Heterótrofos	80	ufc/mL
MB	Huevos de Helmintos	0	Huevos/L
MB	OVL-Protozoarios	0	Org./L
MB	Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	0	Quistes/L
MB	Larvas de Helmintos	0	Org./L
MB	OVL-Rotíferos	0	Org./L
MB	OVL-Copépodos	0	Org./L
MB	OVL-Nemátodos	0	Org./L
MB	Numeración de Escherichia coli	<1.1*	NMP/100mL
MB	Deteccion de Colifagos (Virus)	0	UFC/ml

Nota: \*&lt;, Equivale Ausencia (cero)

Los parámetros microbiológicos de la muestra M – 02 que no cumplen con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” son Recuento de Microorganismos Heterótrofos, Numeración de Coliformes totales, OVL-Protozoarios.

El análisis del agua procesada de los parámetros microbiológicos de la muestra M - 03 cumplen con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

## 4.2. RESULTADOS DEL ESTADO ACTUAL DEL AGUA SUBTERRANEA SALADA EN LA PARCIALIDAD DE SACASCO I SECTOR SAQUIATA DEL DISTRITO TARACO, 2022

### 4.2.1. Resultados del análisis de agua subterránea salada de las muestras

#### M-01

El estado actual de la calidad de agua subterránea salada en la parcialidad de Sacasco I Sector Saquiata del distrito de Taraco no es apto para consumo humano, puesto que contienen parámetros que no cumplen con los “Límites Máximos Permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” como: sólidos disueltos totales, Turbidez, Nitrógeno, Dureza total, Conductividad, Aluminio, Arsénico, Boro Hierro, Manganeso, Sodio, Cloruro y Sulfato.

- Físico - Químico

**Tabla 12**

*Resultados del análisis Físico - Químico de la muestra M-01*

LAB	DETERMINACIÓN	M-01	UNIDADES
FQ	Sólidos Disueltos Totales	4570	mg/L
FQ	Turbidez	47.7	NTU
FQ	Sabor	Aceptable	---
FQ	pH	7	U de pH
FQ	Sensorial Olor	Aceptable	---
FQ	Nitrógeno (Amoniac)	11.13	mg/L
FQ	Dureza Total	2725.29	mg/L
FQ	Conductividad	8760	μS/cm
FQ	Cianuro Total	<0.01	mg/L
FQ	Color	14	U de color

**Tabla 13***Resultados del análisis Físico - Químico de los metales totales de la muestra M-01*

<b>LAB</b>	<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>M-01</b>	<b>UNIDADES</b>
FQ	Aluminio)	0.22	mg/L
FQ	Arsénico	0.03876	mg/L
FQ	Boro	3.065	mg/L
FQ	Bario	0.0357	mg/L
FQ	Cadmio	0.00002	mg/L
FQ	Cobre	0.001	mg/L
FQ	Hierro	4.574	mg/L
FQ	Mercurio	<0.0005	mg/L
FQ	Manganeso	3.935	mg/L
FQ	Molibdeno	0.0014	mg/L
FQ	Sodio	960.36	mg/L
FQ	Niquel	0.0039	mg/L
FQ	Plomo	0.0008	mg/L
FQ	Antimonio	0.0002	mg/L
FQ	Selenio	<0.0001	mg/L
FQ	Uranio	0.00812	mg/L
FQ	Zinc	0.024	mg/L

**Tabla 14***Resultados del análisis Físico - Químico de Aniones Oxihalidos de la muestra M-01*

<b>LAB</b>	<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>M-01</b>	<b>UNIDADES</b>
FQ	Clorato	<0.1	mg/L
FQ	Clorito	<0.1	mg/L

**Tabla 15**

*Resultados del análisis Físico - Químico de Aniones de la muestra M-01*

LAB	DETERMINACIÓN	M-01	UNIDADES
FQ	Cloruro	2014.42	mg/L
FQ	Fluoruro	0.26	mg/L
FQ	Nitrato	0.41	mg/L
FQ	Sulfato	1593.32	mg/L

#### **4.2.2. Interpretación gráfica de los resultados de los análisis de calidad de agua**

Se aprecia los resultados del análisis de la calidad de agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.”

En las figuras se pueden observar la reducción de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos presentes en el agua subterránea antes de su tratamiento mediante el destilador solar y después de su tratamiento mediante el prototipo.

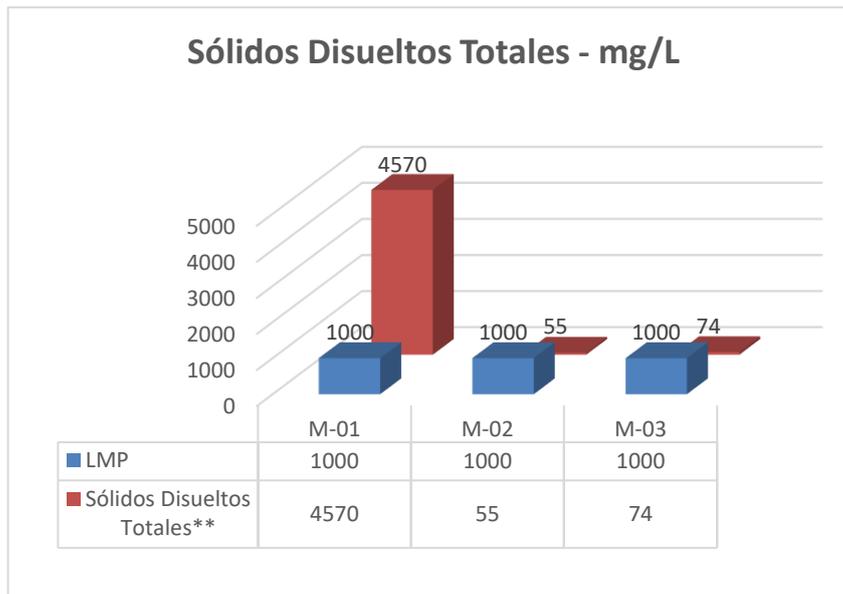
#### **- Sólidos Disueltos Totales**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de sólidos disueltos totales de 4570 a 55 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual

está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano”

### Figura 25

*Comparación de los resultados del análisis del Sólidos disueltos totales con LMP del reglamento.*

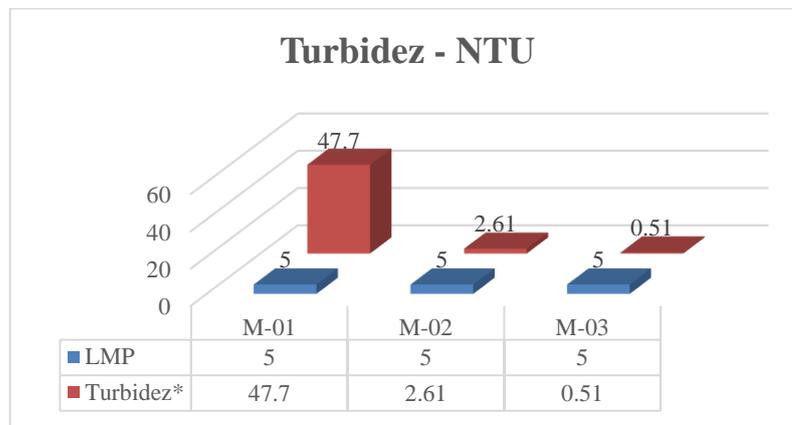


### - Turbidez

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad unidades nefelométricas de turbidez de presencia de 47.7 a 0.51 NTU, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 26**

*Comparación de los resultados del análisis turbidez con LMP del reglamento.*

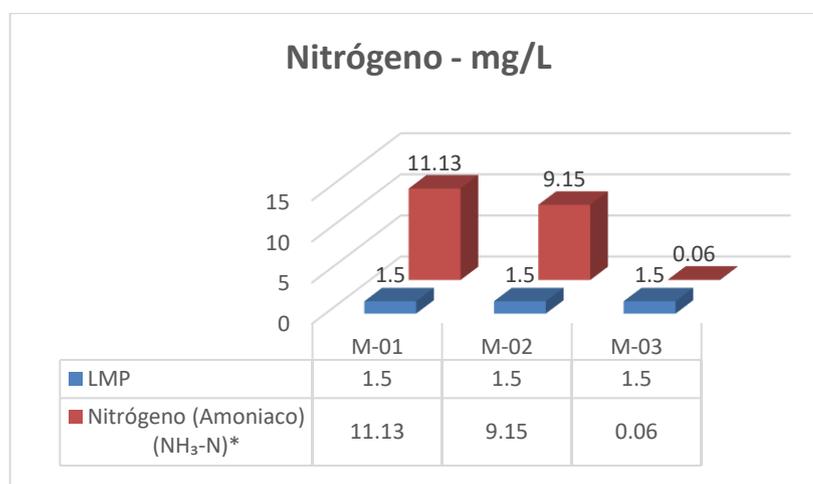


- **Nitrógeno**

Se observa en la gráfica los resultados del análisis de las aguas, donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia nitrógeno, pero no están dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.” Para lo cual se realizó otro análisis M - 03 del agua procesada subsanando los errores anteriores donde los resultados están dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 27**

*Comparación de los resultados del análisis del Nitrógeno con LMP del reglamento*

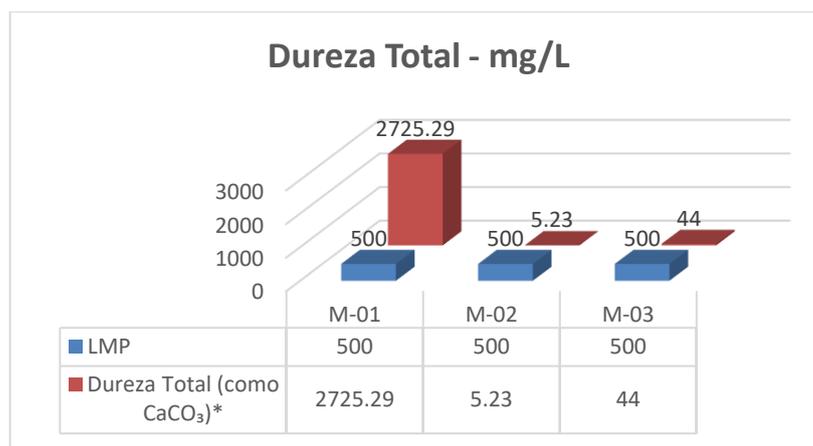


### - Dureza Total

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Dureza total de 2725.29 a 5.23 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 28**

*Comparación de los resultados del análisis Dureza Total con LMP del reglamento*

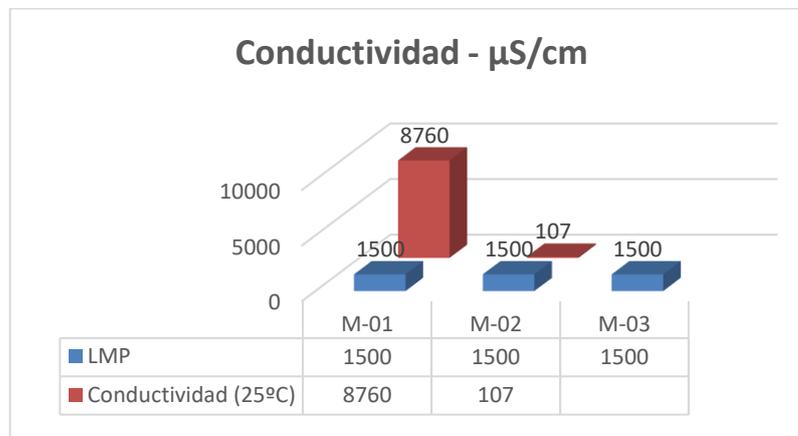


### - Conductividad

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Microsiemens por centímetro de 8760 a 107  $\mu$ S/cm, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 29**

*Comparación de los resultados del análisis de Conductividad con LMP del reglamento*

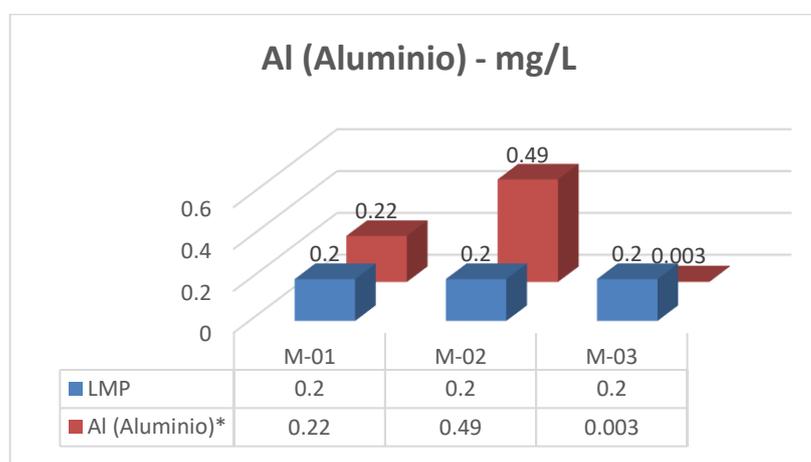


- **Aluminio**

Se observa en la gráfica miligramos por litro de aluminio de 0.22 mg/L M – 01 y un aumento de 0.49 mg/L M – 02, este aumento se debe al mal manejo a la hora de realizar muestreo del agua. Seguidamente se realizó otro análisis M - 03 del agua procesada subsanando los errores anteriores, donde los resultados miligramos por litro de aluminio fueron de 1.1 mg/L que están dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano”.

**Figura 30**

*Comparación de los resultados del análisis del Aluminio con LMP reglamento*

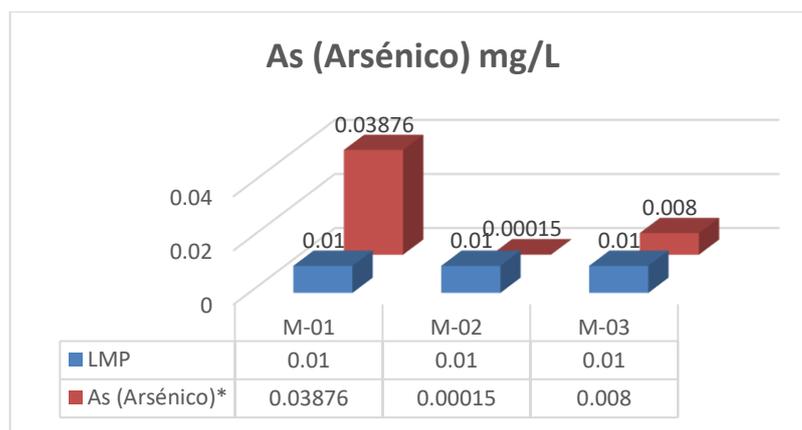


### - **Arsénico**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Arsénico 0.03876 a 0.00015 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 31**

*Comparación de los resultados del análisis del Arsénico con LMP reglamento*

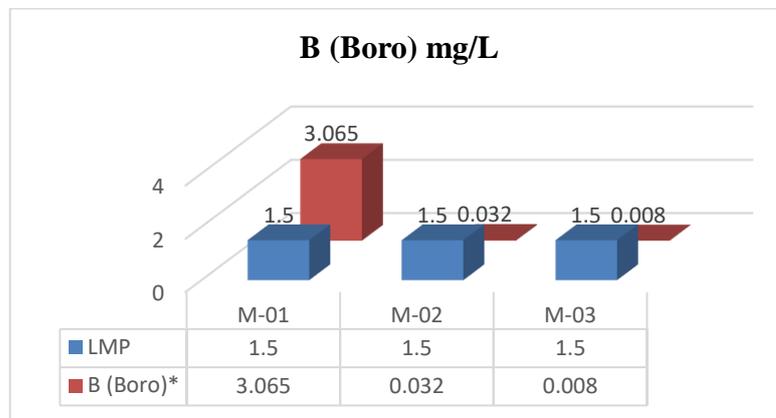


### - **Boro**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada y “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Boro 3.065 a 0.008 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano”

**Figura 32**

*Comparación de los resultados del análisis del Boro con LMP reglamento*

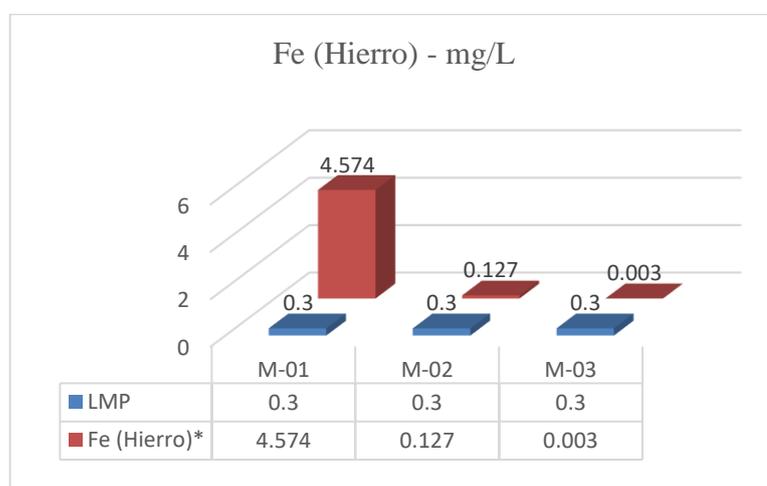


- **Hierro**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Hierro 4.574 a 0.003 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 33**

*Comparación de los resultados del análisis del Hierro con LMP del reglamento*

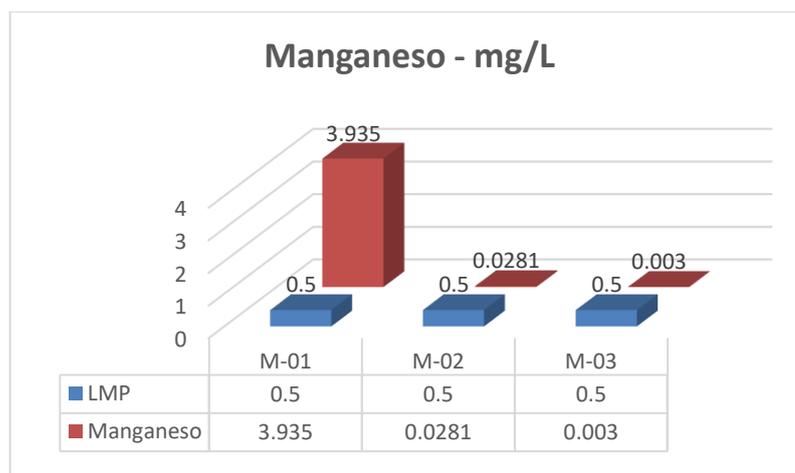


### - **Manganeso**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Manganeso 3.935 a 0.003 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 34**

*Comparación de los resultados del análisis del Manganeso con LMP reglamento*

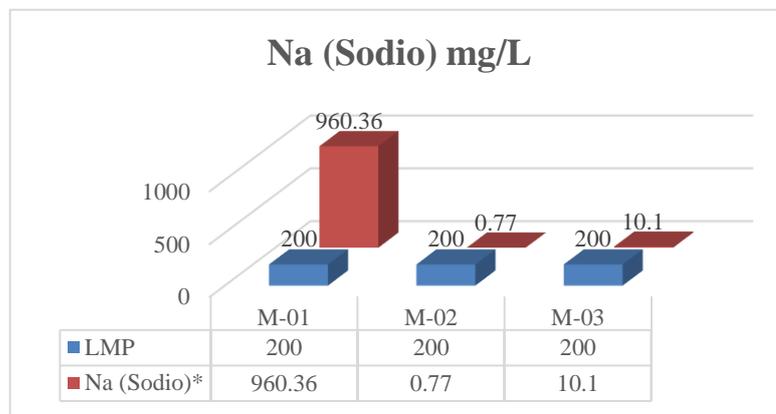


### - **Sodio**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Sodio 960.36 a 0.77 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 35**

*Comparación de los resultados del análisis de sodio con LMP del reglamento*

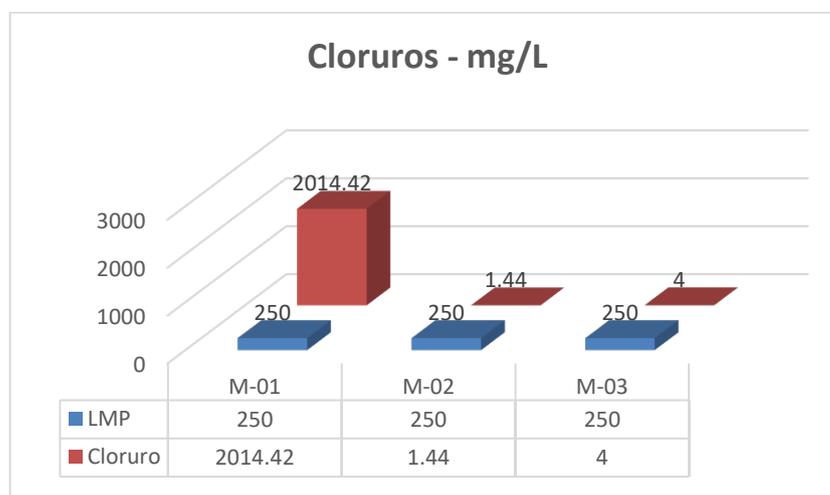


- **Cloruros**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Cloruro 2014.42 a 1.44 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 36**

*Comparación de los resultados del análisis del Cloruros con LMP reglamento*

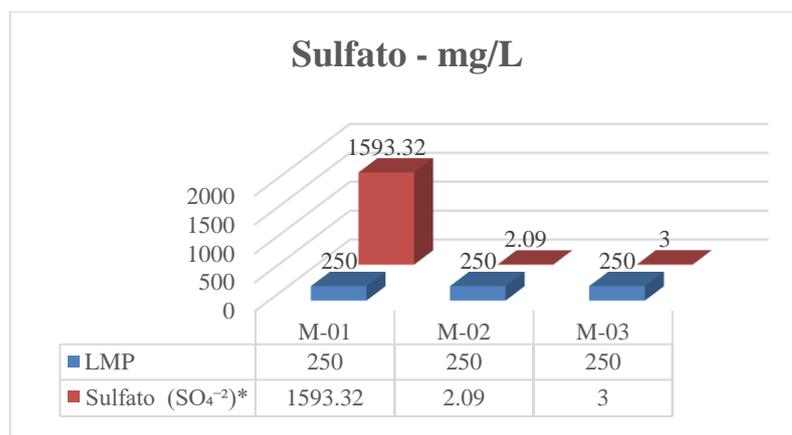


### - Sulfato

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de miligramos por litro de presencia de Sulfato 1593.32 a 2.09 mg/l, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 37**

*Comparación de los resultados del análisis sulfato con LMP del reglamento*

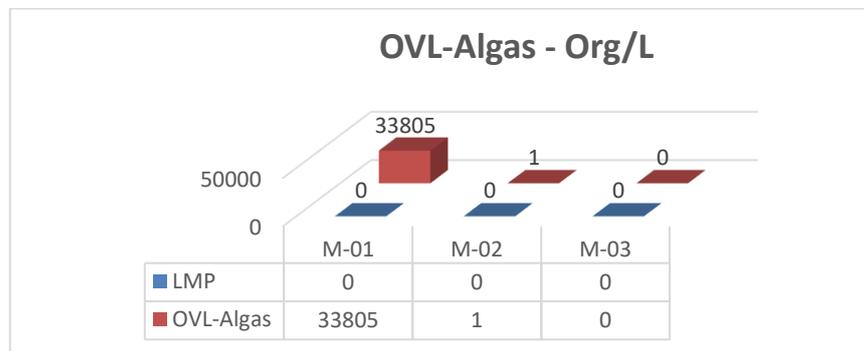


### - OVL – Algas

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de organismos por litro de presencia de OVL - Algas 33805 a 0 Org/L, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 38**

*Comparación de los resultados del análisis OVL - algas con LMP del reglamento*

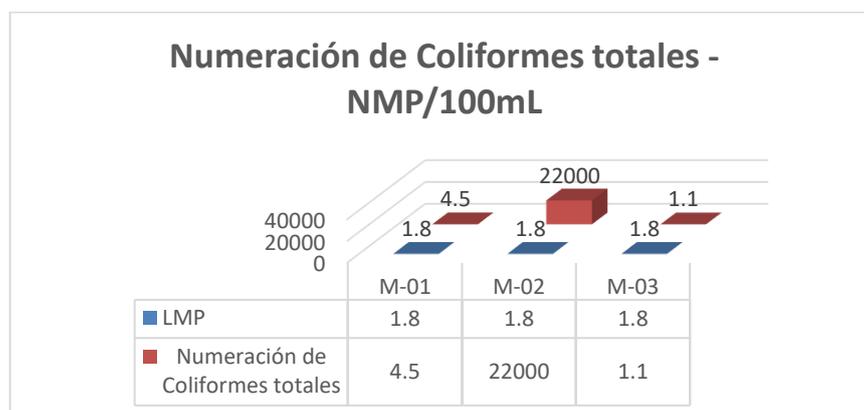


- **Numeración de Coliformes Totales**

Se observa en la gráfica el número más probable por 100 mililitros de numeración de coliformes totales 4.5 NMP/100mL M – 01 y un aumento de 22000 NMP/100mL M – 02, este aumento se debe al mal manejo a la hora de realizar muestreo del agua. Seguidamente se realizó otro análisis M - 03 del agua procesada subsanando los errores anteriores, donde los resultados fueron de número más probable por 100 mililitros de numeración de coliformes totales de 1.1 NMP/100mL que están dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 39**

*Comparación de los resultados del análisis OVL – numeración de coliformes totales con LMP del reglamento*

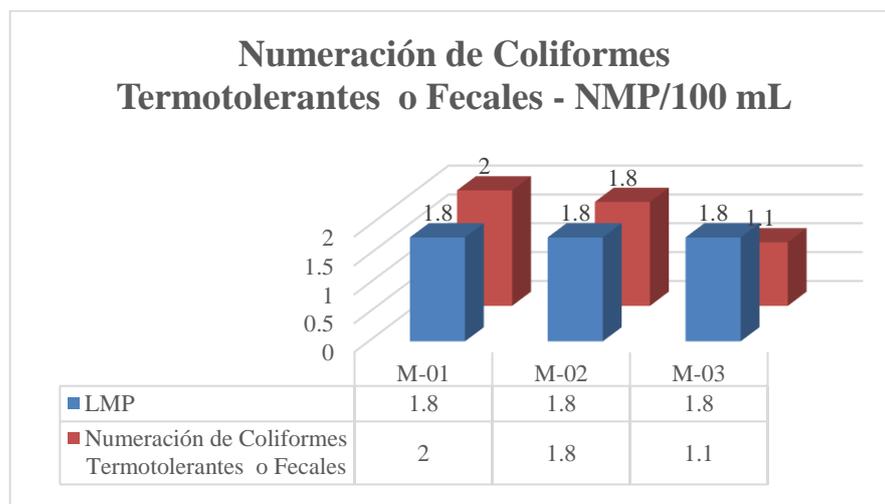


### - Numeración de Coliformes Termo tolerantes o fecales

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de número más probable por litro de numeración de presencia coliformes termotolerantes o fecales 2 a 1.1 NMP/mL, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 40**

*Comparación de los resultados del análisis Numeración de coliformes termo tolerantes o fecales con LMP del reglamento*



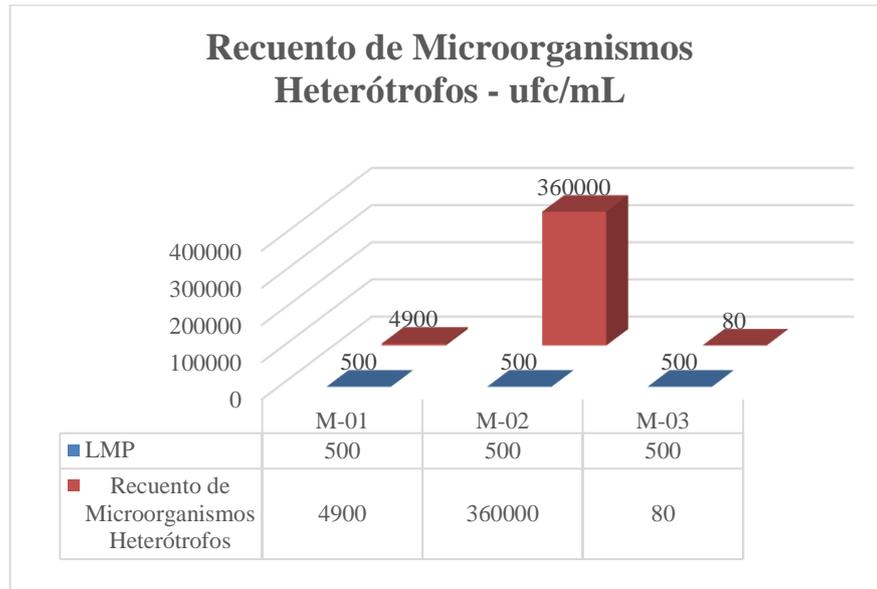
### - Recuento de Microorganismos Heterótrofos

Se observa en la gráfica unidades formadoras de colonia de recuento de microorganismos heterótrofos 4900 ufc/mL M – 01 y un aumento de 360000 ufc/mL M – 02, este aumento se debe al mal manejo a la hora de realizar muestreo del agua. Seguidamente se realizó otro análisis M - 03 del agua procesada subsanando los errores anteriores, donde los resultados fueron de unidades formadoras de colonia de recuento de microorganismos heterótrofos de 80

NMP/100mL que están dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 41**

*Comparación de Recuento de Microorganismos Heterótrofos con LMP reglamento*

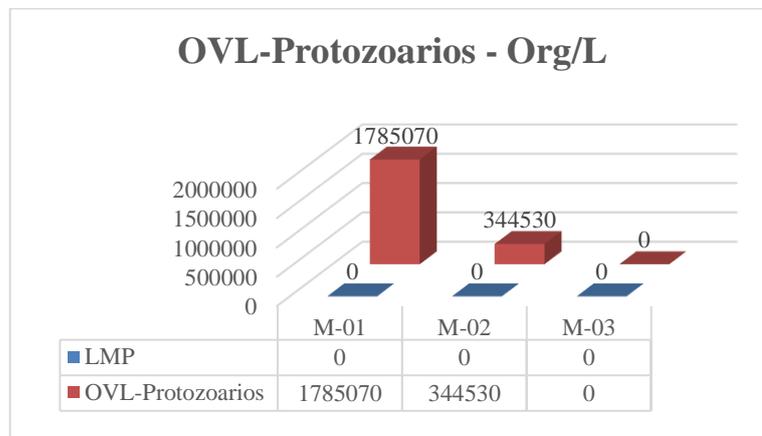


- **OVL – Protozoarios**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de la cantidad de organismos por litro de presencia de OVL - protozoarios 1785070 a 0 N° Org./L, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 42**

*Comparación de los resultados del análisis de OVL-Protozoarios con LMP reglamento*

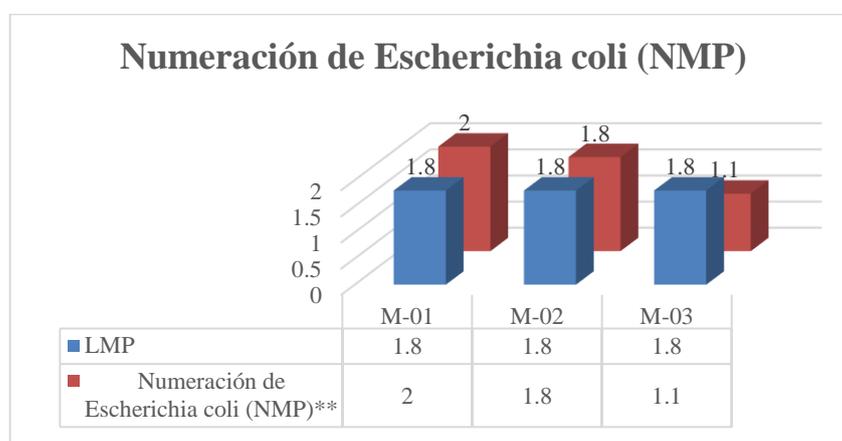


- **Numeración de Escherichia**

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.” donde se aprecia la disminución de la cantidad de número más probable por litro de presencia de numeración de escherichia 2 a 1.1 NMP/100mL, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 43**

*Comparación de Numeración de Escherichia coli (NMP) con LMP reglamento*

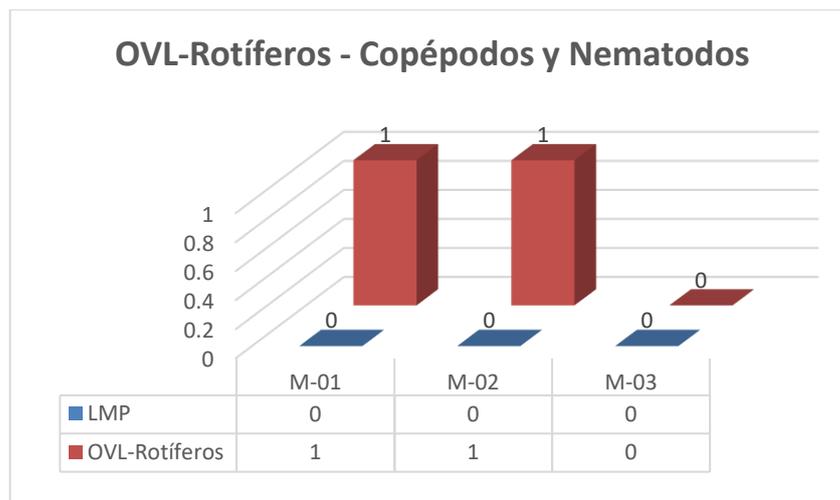


## - OVL – Rotíferos, Copéodos y Nematodos

Se observa en la gráfica la variación de los resultados del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano” donde se aprecia la disminución de 2 a 1.1 NMP/100mL, antes y después de su procedimiento, lo cual está dentro de los “límites máximos permisibles” en el “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.”

**Figura 44**

*Comparación de los resultados del análisis de OVL-Rotíferos, copéodos y nematodos con LMP reglamento*



### 4.2.3. Interpretación de los parámetros encontrados según otros métodos de tratamiento de agua y su efectividad.

Según (Ramos P. L., 2021) Concluye en su trabajo de investigación: “La calidad del agua después de ser sometida al proceso de osmosis inversa para el consumo en la institución educativa My. EP Marko Emilio Jara Schenone – I-E- N° 64912 es adecuada, lo que permite determinar que los niveles de parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y de metales en el agua obtenida después del



proceso son adecuados al haber sido comparados con los LMP establecidos en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.”

Según los resultados de la investigación indica que el tratamiento de agua subterránea salada indica que “mediante el destilador solar reduce los valores de los parámetros del agua después de su tratamiento, conforme al tratamiento de agua mediante la osmosis inversa (OI), en instituciones educativas del distrito de Manantay de la provincia de Coronel portillo en el departamento de Ucayali, también se logró reducir los valores parámetros del agua después de su tratamiento.”

Resultados del análisis de agua antes de su tratamiento mediante el destilador solar y la osmosis inversa: Numeración de coliformes totales es de 4.5 NMP/100mL y 91 NMP/100mL y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a  $<1$  NMP/100mL y 0 NMP/100mL, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 NMP/100mL. Numeración de coliformes termotolerantes o fecales es de 2 NMP/100mL y 29.667 NMP/100mL y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a  $<1.8$  NMP/100mL y 0 NMP/100mL, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 NMP/100mL. Recuento de Microorganismos Heterótrofo es de 4900 ufc/mL y 0 ufc/mL y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 80 ufc/mL y 0 ufc/mL, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 500 ufc/mL. Huevos de



Helmintos es de  $<1$  Huevos/L y 0 Huevos/Ly después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Huevos/L y 0 Huevos/L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Huevos/L. OVL-Protozoarios es de 1785070 Org./L y 0 Org./L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Org./L y 0 Org./L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Org./L. Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos es de  $<1$  Quistes/L y 0 Quistes/L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Quistes/L y 0 Quistes/L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Quistes/L. Larvas de Helmintos es de  $<1$  Org./L y 0 Org./L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Org./L y 0 Org./L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Org./L. OVL-Rotíferos es de  $<1$  Org./L y 0 Org./L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Org./L y 0 Org./L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Org./L. OVL-Copépodos es de  $<1$  Org./L y 0 Org./L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Org./L y 0 Org./L, “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Org./L. OVL-Nemátodoses de



<1 Org./L y 0 Org./L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0 Org./L y 0 Org./L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 0 Org./L. Turbiedad es de 47.7 NTU y 7.14 NTU y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 0.51 NTU y 0.31 NTU, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 5 NTU. pH es de 7 unidad de pH y 7.4 unidad de pH y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 7.6 unidad de pH y 7 unidad de pH, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 6.5 – 8.5 unidad de pH, Conductividad es de 8760  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 136.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 107  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 24.47  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sólidos disueltos totales es de 4570 mg/L y 68.3 mg/L y después de ambos tratamientos los resultados redujeron significativamente a 55 mg/L y 12.23 mg/L, el “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” es de 1000 mg/L.

La efectividad de los equipos de ambos tratamientos de agua, mediante el destilador solar y la osmosis inversa cumplen los rangos de los “límites máximos permisibles” establecidos por la DIGESA en su “Reglamento de la calidad de agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.” De acuerdo a los resultados de los



dos tratamientos cumplen para agua apta para consumo humano. Teniendo más efectividad el tratamiento por osmosis inversa.

#### 4.3. CUADRO DE COMPARATIVO DEL ANÁLISIS DEL AGUA SUBTERRÁNEA SALADA, AGUA PROCESADA CON EL REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Las características físicas, químicas y microbiológicas del agua subterránea salada y del agua procesada se comparan con el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Los valores del agua subterránea salada son claramente mucho más altos que los del agua procesada y el reglamento.

**Tabla 16**

*Cuadro comparativo de los análisis físico – químico con el Reglamento*

LAB	DETERMINACIÓN	M-01	M-02	M-03	LMP	UND.
FQ	Sólidos Disueltos	4570	55	74	1000	mg/L
	Totales					
FQ	Turbidez	47.7	2.61	0.51	5	NTU
FQ	Sabor	Aceptable	Aceptable	-	Aceptable	---
FQ	Ph	7	7.6	-	6.5 a 8.5	U de pH
FQ	Sensorial Olor	Aceptable	Aceptable	-	Aceptable	---
FQ	Nitrógeno (Amoniac)	11.13	9.15	<0.06	1.5	mg/L
FQ	Dureza Total	2725.29	5.23	44	500	mg/L
FQ	Conductividad	8760	107	114	1500	µS/cm
FQ	Cianuro Total	<0.01	<0.01	-	0.07	mg/L
FQ	Color	14	<5	-	15	U de color

**Tabla 17**

*Cuadro comparativo de los análisis físico – químico de metales totales con el Reglamento*

<b>LAB</b>	<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>M-01</b>	<b>M-02</b>	<b>M-03</b>	<b>LMP</b>	<b>UND.</b>
FQ	Aluminio	0.22	0.49	<0.003	0.2	mg/L
FQ	Arsénico	0.03876	0.00015	<0.008	0.01	mg/L
FQ	Boro	3.065	0.032	<0.008	1.5	mg/L
FQ	Bario	0.0357	0.0032	-	0.7	mg/L
FQ	Cadmio	0.00002	0.00002	-	0.003	mg/L
FQ	Cobre	0.001	<0.001	-	2	mg/L
FQ	Hierro	4.574	0.127	<0.003	0.3	mg/L
FQ	Mercurio	<0.0005	<0.0005	-	0.001	mg/L
FQ	Manganeso	3.935	0.0281	<0.003	0.4	mg/L
FQ	Molibdeno	0.0014	<0.0001	-	0.07	mg/L
FQ	Sodio	960.36	0.77	10.1	200	mg/L
FQ	Niquel	0.0039	0.0012	-	0.02	mg/L
FQ	Plomo	0.0008	<0.0002	-	0.01	mg/L
FQ	Antimonio	0.0002	<0.0001	-	0.02	mg/L
FQ	Selenio	<0.0001	<0.0001	-	0.01	mg/L
FQ	Uranio	0.00812	0.00002	-	0.015	mg/L
FQ	Zinc	0.024	0.008	-	3	mg/L

**Tabla 18**

*Cuadro comparativo de los análisis físico – químico aniones oxihalidos con el Reglamento*

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>M-01</b>	<b>M-02</b>	<b>M-03</b>	<b>LMP</b>	<b>UND.</b>
Clorato	<0.1	<0.1	-	0.7	mg/L
Clorito	<0.1	<0.1	-	0.7	mg/L

**Tabla 19**

*Cuadro comparativo de los análisis físico – químico de aniones con el Reglamento*

LAB	DETERMINACIÓN	M-01	M-02	M-03	LMP	UND.
FQ	Cloruro	2014.42	1.44	<4	250	mg/L
FQ	Fluoruro	0.26	0.03	-	1	mg/L
FQ	Nitrato	0.41	<0.1	-	50	mg/L
FQ	Sulfato	1593.32	2.09	<3	250	mg/L

**Tabla 20**

*Cuadro comparativo de los análisis microbiológico*

DETERMINACIÓN	M-01	M-02	M-03	LMP	UND.
OVL-Algas	33805	<1*	0	0	Org./L
Numeración de Coliformes totales	4.5	22000	<1.1*	<1.8	NMP/100mL
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	2	<1.8*	<1.1*	<1.8	NMP/100mL
Recuento de Microorganismos Heterótrofos	4900	360000	80	500	ufc/mL
Huevos de Helminos	<1*	<1*	0	0	Huevos/L
OVL-Protozoarios	1785070	344530	0	0	Org./L
Quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	<1*	<1*	0	0	Quistes/L
Larvas de Helminos	<1*	<1*	0	0	Org./L
OVL-Rotíferos	<1*	<1*	0	0	Org./L
OVL-Copéodos	<1*	<1*	0	0	Org./L
OVL-Nemátodos	<1*	<1*	0	0	Org./L
Numeración de Escherichia coli	2	<1.8*	<1.1*	<1.8	NMP/100mL
Deteccion de Colifagos (Virus)	-	-	0	0	UFC/ml

Nota: \*<, Equivale Ausencia (cero)

#### 4.4. CANTIDAD DE AGUA PROCESADA EN LITROS/DÍA QUE PRODUCIRÁ EL DESTILADOR SOLAR.

##### 4.4.1. Cantidad de agua procesada en litros/día que producirá el destilador solar

El ensayo y las mediciones fueron realizados y monitoreados durante 4 semanas.

Las mediciones se realizaron a una sola hora que fue a las 12:00 pm, esta medición inicio desde el 12 de setiembre y finalizo el 9 de octubre del 2022.

**Tabla 21**

*Datos obtenidos del de investigación*

<b>DATOS OBTENIDOS EN EL LUGAR DEL PROYECTO</b>				
<b>SEMANA</b>	<b>DIA</b>	<b>T. (°C)</b>	<b>CANT. DE AGUA PROCESADA (L/día)</b>	<b>CAUDAL (L/h)</b>
1	12/09/2022	41	1.3	0.054
	13/09/2022	40	1.3	0.054
	14/09/2022	37	1.35	0.056
	15/09/2022	43	1.3	0.054
	16/09/2022	37	1.45	0.06
	17/09/2022	32	1.2	0.05
	18/09/2022	25	1.1	0.046
	2	19/09/2022	37	1.25
20/09/2022		39	1.25	0.052
21/09/2022		36	1.3	0.054
22/09/2022		20	0.8	0.033
23/09/2022		37	1.25	0.052
24/09/2022		25	1.25	0.052
25/09/2022		36	1.5	0.063



SEMANA	DÍA	T. (°C)	CANT. DE AGUA PROCESADA (L/día)	CAUDAL (L/h)
3	26/09/2022	39	1.3	0.054
	27/09/2022	37	1.35	0.056
	28/09/2022	36	1.35	0.056
	29/09/2022	23	0.95	0.04
	30/09/2022	42	1.35	0.056
	01/10/2022	34	1.3	0.054
	02/10/2022	36	1.2	0.05
4	03/10/2022	44	1.35	0.056
	04/10/2022	38	1.15	0.048
	05/10/2022	40	1.3	0.054
	06/10/2022	37	1.2	0.05
	07/10/2022	38	1.3	0.054
	08/10/2022	39	1.25	0.052
	09/10/2022	30	1.35	0.056

**Tabla 22**

*Valores promedios de las Mediciones de agua procesada*

<b>Valores Promedios de las Mediciones</b>		
Temperatura máx.	44	°C
Temperatura min.	20	°C
Promedio Temperatura	36	°C
Promedio de la Cantidad de agua máx. diario	1.5	L
Promedio de la Cantidad de agua min diario	0.8	L
Promedio Cantidad de agua en una hora	0.052	L
Promedio Cantidad de agua en un día	1.26	L
Promedio de agua en una semana	8.8	L
Promedio de agua en un mes	35.3	L



## 4.5. PRESUPUESTO DEL DESTILADOR SOLAR

### 4.5.1. Presupuesto del destilador solar

En la tabla 23 se apreciar el presupuesto de la construcción del destilador solar que es de 936.50 soles, este prototipo tiene un área de 0.70 m<sup>2</sup>.

**Tabla 23**

*Presupuesto del destilador solar*

<b>Componentes</b>	<b>Und</b>	<b>Metrado</b>	<b>C.U.</b>	<b>Parcial</b>
Tubo de pvc de 1/2"	und	1.00	22.00	22.00
Codo de pvc de 90° de 1/2"	und	2.00	2.00	4.00
Union simple de pvc de 1/2"	und	3.00	1.50	4.50
Union universal cpvc de 1/2"	und	2.00	2.50	5.00
Niple pvc de 1/2"	und	6.00	1.00	6.00
Llave de paso de 1/2"	und	1.00	15.00	15.00
Estructura de metal	glb	1.00	250.00	250.00
Vidrio de 6 mm	glb	1.00	300.00	300.00
Canaleta de aluminio de 1"	m	4.00	4.00	16.00
Pernos de 3/16"	und	10.00	1.00	10.00
Bidon de 35 litros	und	1.00	25.00	25.00
Balde de 15 litros	und	1.00	18.00	18.00
Balde de 5 litros	und	1.00	7.00	7.00
Jebe 1"	und	4.00	1.50	6.00
Silicona	und	2.00	14.00	28.00
Cinta teflon	und	2.00	1.00	2.00
Cuter	glb	1.00	3.00	3.00
Aplicador de silicona	glb	1.00	15.00	15.00
Mano de obra	glb	1.00	100.00	100.00
Gastos movilidad	glb	1.00	100.00	100.00
<b>Presupuesto Total</b>				<b>936.50</b>

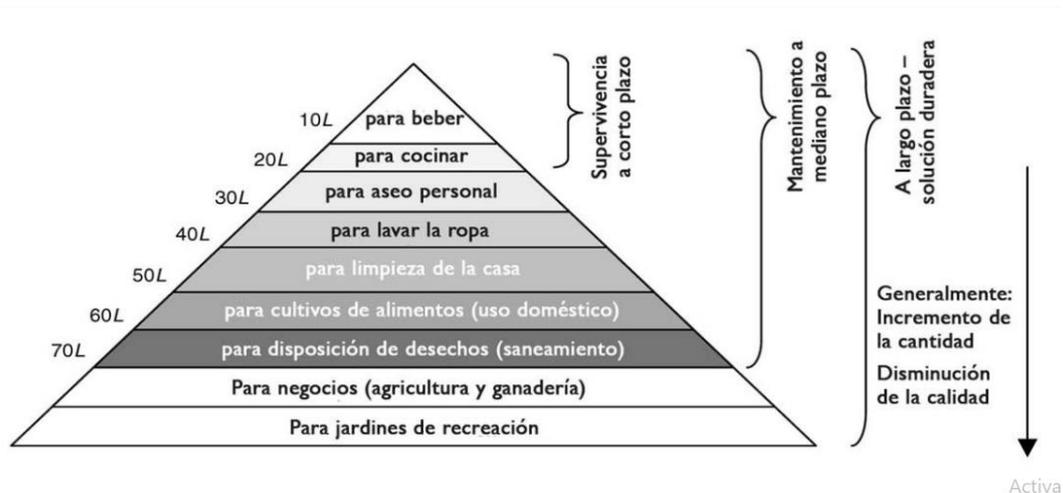
#### 4.5.2. Elaboración presupuestal de un destilador solar para una familia

El prototipo destilador solar de dos vertientes fue construido con un área de 0.70 m<sup>2</sup> de base y como resultado de la cantidad de agua procesada máximo es de 1.5 L/día.

“En la figura se puede observar la cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico para sus necesidades básicas en la zona de estudio son para beber y cocinar” y “la cantidad de agua que requiere una persona es de 30 L/p/día y cantidad de agua que necesitará una familia conformada de 4 personas será de 120 L/día” (OMS, 2009)

**Figura 45**

*Jerarquía de las necesidades de agua*



Por lo tanto, el área a considerar del destilador solar para una abastecer sus necesidades para una familia será de:

$$1.5 \text{ L} \text{ ----- } A = 0.70 \text{ m}^2$$

$$120 \text{ L} \text{ ----- } A = ?$$

$$A = 56 \text{ m}^2$$

Con los análisis de los resultados se determinó destilador solar produce agua apta para consumo, ya que el prototipo producirá agua apta para consumo para abastecer a una familia, con una dimensión que tendrá un área de 56 m<sup>2</sup> de la base del almacenamiento de agua subterránea, también los materiales que se utilizaran tienen una larga durabilidad y esto solo ocasionara un solo gasto en la construcción de este tipo de prototipo.

**Tabla 24**

*Presupuesto de un destilador solar para abastecer a una familia*

<b>PRESUPUESTO PARA LA EJECUCION DE UN DESTILADOR SOLAR</b>		
Item	Componente	Precio (S/.)
1	DESTILADOR SOLAR	12,559.07
Costo Directo		12,559.07

El presupuesto que se utilizará para la construcción de un destilador solar para poder abastecer a una familia de 4 personas es de S/ 12,559.07.

#### 4.5.3. Prueba de análisis estadístico

**Tabla 25**

*Datos para análisis estadístico*

<b>Parámetros</b>	<b>Variable 1</b>	<b>variable 2</b>
OVL-Algas	33805	0
Numeración de Coliformes totales	4.5	1.1
Numeración de Coliformes Termotolerantes o Fecales	2	1.1
Recuento de Microorganismos Heterótrofos	4900	80
Huevos de Helmintos	1	0
<b>Parámetros</b>	<b>Variable 1</b>	<b>variable 2</b>
OVL-Protozoarios	1785070	0



Quiestes y ooquistes de protozoarios patógenos.	1	0
Larvas de Helminfos	1	0
OVL-Rotíferos	1	0
OVL-Copépodos	1	0
OVL-Nemátodos	1	0
Numeración de Escherichia coli	2	1.1
Sólidos Disueltos Totales	4570	55
Turbidez	47.7	0.51
Ph	7	7.6
Nitrógeno (Amoniaco)	11.13	0.06
Dureza Total	2725.29	5.23
Conductividad	8760	107
Cianuro Total	0.01	0.01
Color	14	5
Aluminio	0.22	0.003
Arsénico	0.03876	0.00015
Boro	3.065	0.008
Bario	0.0357	0.0032
Cadmio	0.00002	0.00002
Cobre	0.001	0.001
Hierro	4.574	0.003
Mercurio	0.0005	0.0005
Manganeso	3.935	0.003
Molibdeno	0.0014	0.0001
Sodio	960.36	0.77
Niquel	0.0039	0.0012
Plomo	0.0008	0.0002
Antimonio	0.0002	0.0001
Selenio	0.0001	0.0001
Uranio	0.00812	0.00002
Zinc	0.024	0.008
<b>Parámetros</b>	<b>Variable 1</b>	<b>variable 2</b>
Clorato	0.1	0.1



Clorito	0.1	0.1
Cloruro	2014.42	1.44
Fluoruro	0.26	0.03
Nitrato	0.41	0.1
Nitrito	0.02	0.02
Sulfato	1593.32	2.09

#### 4.5.3.1. Elección de la prueba estadística

Se realizará la prueba "t del estudiante" para evaluar las diferencias entre dos grupos de datos para probar las hipótesis planteadas en este estudio. "La prueba t es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable" (Hernandez, 2014).

Prueba de normalidad, el Shapiro wilk (para muestras menores a 50), la prueba de hipótesis seleccionada se realizará mediante el uso del programa estadístico IBM SPSS Statistics.

- Formulación de la hipótesis estadística
- $H_0$ : Hipótesis nula
- $H_1$ : Hipótesis de investigación o hipótesis de alterna

#### 4.5.3.2. Planteamiento de Hipótesis

$H_0$ : No es posible una alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano – Distrito de Taraco.



H1: Es posible una alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano – Distrito de Taraco.

#### 4.5.3.3. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk

En este caso utilizaremos el test de Shapiro Wilk, ya que son para datos  $< 50$ .

$\alpha = 5\% = 0.05$ , lo que indica el nivel de confianza del 95%

Si P-valor (T)  $\geq \alpha$ , se acepta que los datos presentan una distribución normal.

Si P-valor (T)  $\leq \alpha$ , se rechaza que los datos presentan una distribución normal.

Toma de decisiones

Si P-valor (T)  $\leq \alpha$ , se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa o hipótesis de investigación  $H_1$

Si P-valor (T)  $\leq \alpha$ , se acepta la hipótesis nula  $H_0$

**Tabla 26**

*Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk*

	<b>Shapiro-Wilk</b>		
	estadístico	gl	Sig
Agua subterránea salada	0.187	44	<0.001
Agua procesada	0.382	44	<0.001

En la tabla 27 se puede apreciar que  $p \leq 0.05$  lo que indica que tiene una distribución normal.

#### 4.5.3.4. Prueba de Hipótesis

**Tabla 27**

*Prueba Estadística con wilcoxon*

<b>Estadístico de Prueba</b>	
	Agua procesada
	Agua subterránea salada
Z	-4.782 <sup>b</sup>
Sig. Asin. (bilateral)	<0.001

En el estudio que se realizó se obtuvo  $P < 0.001$ , lo cual indica que es menor al valor alfa (0.05), por tal razón, se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis de investigación de los datos de agua subterránea salada y agua tratada.

## 4.6. DISCUSIONES SOBRE LOS RESULTADOS

### 4.6.1. Discusión sobre los resultados de la calidad del agua procesada por el destilador solar

Los resultados de la investigación indican que la calidad del agua producida por el destilador solar es adecuada para el consumo humano.

Los resultados de la calidad de agua procesada mediante el destilador solar tienen correlación con otros estudios comparando con (Alban, 2015), En su zona de trabajo de investigación, descubre que los análisis físico, químico y



microbiológico del agua procesada por un destilador solar cumplen con los parámetros de la Norma Ecuatoriana NTE INEN 1108, lo que la convierte en agua potable. (Felix, 2020), indica que, Según los resultados del análisis fisicoquímico, la destilación solar reduce los parámetros fisicoquímicos del agua de alimentación (agua salobre de la localidad de Maras) a valores que fluctúan dentro de los parámetros de calidad del agua y el límite máximo permisible (LMP) del agua potable según SUNASS. Además, la destilación solar demuestra que el prototipo construido es altamente eficiente. (Castillo, 2008), indica que la purificación de fluidos, específicamente la desalinización del agua, utilizando la radiación solar como fuente de energía es una técnica ya desarrollada que tiene grandes ventajas económicas, principalmente porque ahorra electricidad o petróleo y mejora la calidad del agua obtenida. (Escandon & Fernandez de Cordova, 2021), indica que sus resultados están satisfechos porque el agua procesada está lista para ser consumida por los humanos. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas de la ciudad, no se alcanzó el volumen previsto, ya que se recolectaron 1,5 litros por día, lo cual no es sostenible para una familia de cuatro personas. (Mamani F. E., 2012) indica que el pH y la salinidad se miden para determinar la calidad del agua procesada que se obtuvo en las evaluaciones. La concentración de sal del agua de mar era de 41,6 (g sal) /l. Después de ser destilado, quedó un 0,008 (g sal) /l y en una segunda evaluación se encontró una salinidad de 0,003 (g sal) /l. Como resultado, el agua procesada es de alta calidad y puede ser consumida por la población. (Castillo, 2008) El destilador solar podría solucionar el problema del agua potable en comunidades marginadas donde hay pocas oportunidades para establecer algún tipo de infraestructura de potabilización y tratamiento de agua. La solución rápida, económica y sencilla para obtener agua purificada para



consumo humano brindará beneficios inmediatos a los usuarios al prevenir problemas de salud relacionados con el uso e ingesta de agua contaminada. Esto mejorará la salud de la población.

#### **4.6.2. Discusión sobre los resultados de la calidad de agua subterránea salada**

Según los resultados de la investigación, la calidad del agua subterránea salada no cumple con los requisitos para el consumo humano en el Distrito de Taraco Parcialidad Sacasco I Sector Saquiata.

Los resultados de la calidad de agua subterránea salada tiene correlación con otros estudios como (Quille, 2022) Indica que según los resultados que se obtuvieron del trabajo de investigación, se certifica que la calidad del agua subterránea salada de pozo no cumple con los Estándares de Calidad Ambiental para agua, puesto que de acuerdo a la evaluación los parámetros se encuentran fuera del rango permitido establecido por la DIGESA, en el caso metales pesados en la totalidad de las muestras el Arsénico supera el límite máximo permisible, confirmando que el consumo de agua de fuente subterránea sin tratamiento es altamente perjudicial para la salud humana. (Belizario, 2011), indica que la calidad de agua para consumo humano en el estudio es deficiente (mala) y que los elementos como la dureza, la alcalinidad y los cloruros exceden los valores permitidos en las muestras. Esto se debe a la formación hidrogeológica de la zona y la contaminación biológica con coliformes fecales (bacterias) debido a la ubicación inadecuada y el acceso limitado a letrinas sanitarias (ecológicas).

#### **4.6.3. Discusión sobre los resultados del cuadro de comparativo del análisis del agua subterránea salada, agua procesada con el reglamento de la calidad de agua para consumo humano.**

Según los resultados del cuadro comparativo del agua subterránea, agua procesada con el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano, se puede apreciar las reducciones de los parámetros tanto como microbiológicos y fisicoquímicos después de su tratamiento.

Estos resultados tienen correlación con otros estudios como (Escandon & Fernandez de Cordova, 2021) indica que el destilador solar de agua produce agua que cumple con los requisitos de laboratorio de la norma nacional para agua potable. (Alban, 2015) indica que los resultados de los análisis físico, químico y microbiológico del agua destilada, comparados con los parámetros de la NORMA ECUATORIANA NTE INEN 1108, están dentro de los límites, por lo que se considera agua potable

#### **4.6.4. Discusión sobre los resultados de la cantidad de agua procesada que produce el destilador solar**

Según los resultados que se obtuvieron del trabajo de investigación, la cantidad de agua promedio que produce el destilador solar es de 1.3 l/día, este prototipo destilador solar puede solucionar los problemas de escases de agua construyendo un destilador solar de mayor dimensión para poder satisfacer sus necesidades básicas de una familia.

Comparando con otros estudios como (Alban, 2015), En su trabajo de investigación, indica que el destilador solar produjo 3 litros por metro cuadrado de agua procesada al día, lo que es una producción satisfactoria, ya que, según



estudios médicos, una persona típica consume 2 litros de líquido al día, incluidos alimentos, agua y verduras. Esto significa que la mitad es agua y la otra mitad son líquidos de otros productos de consumo. (Felix, 2020), En su proyecto, indica que “el volumen promedio es de 326.88 ml/día, con un nivel máximo de 452 ml/día y un nivel mínimo de 208 ml/día. El agua purificada producida por destilación solar de la salinera de Maras cumple con todos los estándares de calidad de agua potable, con una reducción de 387 mg/l a 25 mg/l de cloruro y una dureza total de 6500 mg/l a 33 mg/l. El prototipo del destilador solar finalmente logró una eficiencia térmica del 35%.” (Mamani F. E., 2012), indica que “su destilador solar tubular diseñado, construido y evaluado muestra un buen desempeño en el proceso experimental que se desarrolló para tratar agua de mar; la producción de volumen de agua procesada se determinó durante el proceso experimental, obteniéndose una producción máxima de 120ml/día para el mes de mayo, con una irradiancia solar global promedio de 423.8 w/m<sup>2</sup>, y para una producción mínima de 45 ml/día para el mes de agosto, con una irradiancia solar global promedio de 102 w/m<sup>2</sup>, y una producción media de 63 ml/día para el mes de junio, con una irradiancia solar global promedio de 305w/m<sup>2</sup>; el volumen adecuado para el destilador en el DST, en los tiempos de otoño e invierno es de 100ml/día en promedio, con un a irradiancia solar global promedio de 350w/m<sup>2</sup>.” (Polo & Perez, 2020) indica que “el destilador solar de una vertiente (DSV) muestra un desempeño razonable en la destilación de agua de mar bajo las condiciones meteorológicas de la ciudad de Tacna, con una irradiancia solar promedio de 165 watts por metro cuadrado, temperatura ambiente variable entre 18 y 23 grados Celsius y una bandeja inicial de 25 litros de agua de mar con una superficie colectora de 1,013 metros cuadrados y un volumen de cama de aire húmedo de 0.58m<sup>3</sup>.” (Luque & Romero, 2017),



indica que “en condiciones críticas el prototipo diseñado destila 0,5 litros de agua en un tiempo aproximado de 4 horas.”



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La calidad del agua producida por el destilador solar en el distrito de Taraco Parcialidad Sacasco I Sector Saquita es una alternativa a la desalinización del agua subterránea salada. Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua procesada de las tablas 2, tabla 4, tabla 6, tabla 7, tabla 9 cumplen con los LMP establecidos en el Reglamento de la calidad del agua apta para consumo humano.

**SEGUNDA:** El agua subterránea en el distrito de Taraco, parcialidad Sacasco, en el I sector Saquita, no es adecuada para el consumo humano debido a que los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicas en las tablas 11, tabla 12, tabla 13, tabla 14, no cumplen con los parámetros de control requeridos en el Reglamento de calidad de agua para consumo humano. demostrando que el agua en el punto de análisis no es segura porque podría representar un riesgo para la salud.

**TERCERA:** Se evaluó la comparación en la tabla 15 de los análisis del agua subterránea salada, agua procesada con los parámetros establecidos en el Reglamento de calidad de agua para consumo humano, teniendo resultados aptos para consumo humano, por lo cual, este equipo ayudaría mejorar una calidad de vida digna para las familias donde el agua para sus necesidades básicas es un recurso muy escaso.

**CUARTA:** La cantidad de agua procesada mediante el destilador solar, se obtuvo un volumen máximo de 1.50 L/día, un volumen mínimo de 0.8 L/día y un volumen promedio de 1.3 L/día. Este volumen de agua promedio no es



sostenible para una familia para sus necesidades básicas, para lo cual se debería construir un destilador solar de mayor dimensión.



## VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** La profundidad del agua en la bandeja es crucial porque el agua se calienta más rápido y la destilación se acelera. Se recomienda que la profundidad del agua no exceda los 5 cm.
- SEGUNDA:** Es necesario pintar la bandeja de agua de un color oscuro (en este caso negro), ya que esto facilita la absorción de la radiación solar y aumenta la temperatura dentro del destilador.
- TERCERA:** Para mejorar la producción y lograr una mayor concentración de calor interno, el destilador solar debe estar herméticamente sellado para evitar fugas de calor.
- CUARTA:** En cuanto a los materiales, se utilizó jebe para sellar los extremos de la bandeja de agua con la cubierta de vidrio; se aconsejan otros materiales aislantes al calor.
- QUINTA:** Se aconseja realizar el mantenimiento del prototipo, la limpieza de las canaletas y la limpieza de las bandejas debido a los sedimentos salinos.
- SEXTA:** Recomienda no utilizar canaletas de aluminio, ya que al pasar el tiempo empiezan a cambiar de color amarillento y esto puede ocasionar variaciones en los resultados de los análisis.
- SÉPTIMA:** Antes de comenzar el proceso de destilación por la mañana, la parte exterior del vidrio debe limpiarse para evitar que el polvo del entorno obstruya el paso de la radiación hacia la bandeja.



- OCTAVA:** Es recomendable que el destilador solar se oriente en función de la latitud donde se llevará a cabo el proyecto.
- NOVENA:** La colocación del estiércol de vacuno inicia a calentar después de 30 días, para lo cual es recomendable colocar este material antes de realizar el procesamiento de agua.
- DÉCIMA:** Es recomendable utilizar un material de estiércol fresco para que puede liberar calor y descomponerse.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alban, U. J. (2015). Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 A 4 personas en el sitio de Bajo Alto, Canton el Gaubo, provincia de el Oro. (*Tesis pregrado*). Universidad Tecnica de Machala, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2930>
- ANA. (2018). *Metodologia para la determinacio del indice de calidad de agua Ica - pe, aplicado a ls cuerpos de agua continentales superficiales*. Lima.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigacion* (6 ed.). Episteme.
- Bauer, J. L. (2007). La Calidad del agua y la salud humana. Peru. Obtenido de <https://ciga.pucp.edu.pe/wp-content/uploads/2017/09/5.-CAPITULO-5.pdf>
- Belizario, M. E. (2011). Evaluacion de la calidad de agua subterranea para fines de consumo humano de la comunidad Carata del distrito Coata. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3275838>
- Buscar agua. (26 de Octubre de 2016). Aguas subterranea y el agua salada. Obtenido de <https://buscaraguasubterranea.com/buscar-agua-subterranea-salada-ii/>
- Castillo, T. M. (2008). Desarrollo y analisis energetico de destiladores de agua con conveccion natural y conveccion forzada. (*Tesis Maestria*). Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico. Obtenido de [https://repositorio.unam.mx/contenidos/desarrollo-y-analisis-energetico-de-destiladores-solares-de-agua-con-conveccion-natural-y-conveccion-forzada-219477?c=rOjjZk&d=false&q=\\*&i=1&v=1&t=search\\_1&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/desarrollo-y-analisis-energetico-de-destiladores-solares-de-agua-con-conveccion-natural-y-conveccion-forzada-219477?c=rOjjZk&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_1&as=0)
- Castro, G. C., & Cuti, C. W. (2020). Desalinizacion de aguas de laguna artificial a traves de un concentrador solar para uso en riego en San Camilo - La Joya, Arequipa 202. (*Tesis pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, LIMA - Peru.
- Chillon, R. L., & Deza, A. L. (2014). Estudio de factibilidad tecnica y economia de la desalinizacion del agua del mar utilizando energia solar como energia renovable en Lambayeque, 2014. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Peru.



- Choqueanca, H. A., & Mamani, C. H. (2008). Inundaciones en Huancane. *Espacio y Desarrollo*(20), 10. Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Downloads/5451-Texto%20del%20art%C3%ADculo-20982-1-10-20130412%20(6).pdf
- Collazos, A. N. (2019). Diseño del proceso de poptabilizacion del agua Gongga en el centro poblado de San Pedro del Marañon, distrito de Singa enero mayo 2019. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huanuco, Peru.
- DIGESA. (2009). *Evaluacion de los resultados de los monitoreos realizados a los Recursos Hidricos en la cuenca del rio Rimac, en el marco del convenio N° 002-2009/MINSA, correspondiente al periodo de agosto a diciembre de 2009*. Peru. Obtenido de [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2009/RIO\\_RIMAC\\_DIGESA-SEDAPAL\\_2009.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2009/RIO_RIMAC_DIGESA-SEDAPAL_2009.pdf)
- Escandon, C. M., & Fernandez de Cordova, V. D. (2021). Diseño de un prototipo de destilador solar para la obtencion de agua apta para consumo humano en una familia. (*Tesis pregrado*). Universidad Politecnica Salesiana, Ecuador. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21428/1/UPS-CT009417.pdf>
- Felix, B. C. (2020). Sistema de destilacion solar para purificacion de aguas salobres. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Peru.
- Flores, V. M. (2021). *Analisis numerico de un destilador solar tipo caseta*. Universidad Autonoma Metropolitana, Mexico.
- Hernandez, S. R. (2014). *Metodologia de la Investigacion*. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Huezo, B. F., & Moran, U. J. (2012). Diseño, construccion y validacion de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de ingenieria quimica. (*Tesis pregrado*). Universidad de el Salvador, San Salvador.
- iagua. (26 de julio de 2018). Beber agua con sal, ¿otra estupidez humana relacionada con el agua? España. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/laura-f->



zarza/beber-agua-sal-otra-estupidez-humana-relacionada-  
agua#:~:text=Adem%C3%A1s%20el%20consumo%20excesivo%20de,deje  
%20de%20llegar%20al%20cerebro.

- iAgua. (2019). Club iAgua. Obtenido de -  
<https://www.iagua.es/noticias/aladyr/desalinizacion-agua-mar-peru>
- Intriago, B. J., & Zambrano, S. D. (2017). Repotenciacion de un destilador solar para agua salina por medio de transferencia de calor y condensacion fotovoltaica. (*Tesis pregrado*). Escuela Superior Politecnica agropecuaria de Manabi Manuel Felix Lopez, Calceta, Ecuador.
- La Decana Radio Juliaca. (11 de mayo de 2018). Madres de familia de la comunidad campesina Requena distrito de Taraco. 90.9FM - 1300AM. Taraco. Obtenido de <https://www.facebook.com/watch/?v=2129481853962857>
- Luque, D. R., & Romero, C. M. (2017). Diseño y construccion de un destilador de agua salada alimentado por medio de energia renovables. (*Tesis pregrado*). Universidad Piloto de Colombia, Colombia.
- Mamani, F. E. (2012). Diseño, construccion y caracterizacion de un destialdor solar tubular para desalinizar agua de mar. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Peru.
- Mamani, V. E. (2012). *Propuestas de estandares Nacionales de Calidad*. Peru. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/166102844/Proyecto-Estandares-Agua-Subterranea#>
- MINSA. (2011). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. Decreto Supremo N° 031-2010-SA, Peru.
- OMS. (2006). *Guia para la calidad del agua potable, 1*.
- Ordenez, G. J. (2011). Aguas Subterranas - Acuiferos. *Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestion integral de recurso hidrico*, 44.
- Pacori, C. K. (2018). Calidad fisicoquimico y bacteriologico del agua en la zona de captacion de la comunidad Hercca - Sicuani - Canchis - Cusco. (*Tesis pregrado*).



- Universidad Nacional del Altiplano, Cusco, Peru. Obtenido de  
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3278116>
- Perez, V. J., & Salazar, R. A. (2015). Analisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de cartagena. (*Tesis pregrado*). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Obtenido de  
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/2356/TESIS.pdf?sequence=1>
- Polo, B. C., & Perez, C. A. (2020). Construccion de un destilador solar de una vertiente con superficie reflectora. *Ciencias*, 4, 11. Obtenido de  
[file:///C:/Users/usuario/Downloads/memo,+01+Art%C3%ADculo\\_revista\\_ciencias%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/memo,+01+Art%C3%ADculo_revista_ciencias%20(5).pdf)
- Quille, S. Y. (2022). Evaluacion de la calidad de aguas subterranas para su potabilizacion unifamiliar en zonas de expansion noroeste de la ciudad de Juliaca. (*Tesis pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Puno, Peru.
- Quispe, Q. H. (2012). Evaluacion de parametros fisicoquimicos en aguas subterranas y tratadas en la empresa Elvimar S.R.L. (*Tesis pregrado*). Universidad Mayor de San Andres, Paz, Bolivia. Obtenido de  
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18058/M-230.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, P. L. (2021). *Evaluacion de la calidad del agua purificada por osmosis inversa para el consumo en instituciones educativas, manantay, coronel portillo, Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali, Ucayali, Peru. Obtenido de  
[http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5088/B72\\_UNU\\_INGENIERIAAMBIENTAL\\_2021\\_T\\_LADY-RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5088/B72_UNU_INGENIERIAAMBIENTAL_2021_T_LADY-RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rodriguez, R. C., Breña, O. J., & Esenarro, V. D. (2021). *Las variables en la metodologia de la investigacion cientifica*. Obtenido de  
<https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/10/Las-VARIABLES.pdf>
- Sabando, A. A. (2017). Diseño y construccion de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba. (*Tesis pregrado*). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Ecuador. Obtenido de



[https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=58514&shelfbrowse\\_itemnumber=79116](https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=58514&shelfbrowse_itemnumber=79116)

Secretaria de Economia. (2001). Analisis de agua - determinacion de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - metodo de prueba. *NMX-AA-073-SCFI-2001*, 18. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166789/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>

Tutiempo.net. (setiembre de 2022). *Radiacion solar en Puno*. Obtenido de <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/puno.html>

UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hidricos 2021*.

Urresta, S. E. (2013). Diseño, construccion y simulacion de un desalinizador solar termico modular de agua de mar para el laboratorio de energia alternativas y eficiencia energetica, con una capacidad diaria promedio de 4 litros. (*Tesis pregrado*). Escuela Politecnica Nacional, Quito.

Valero, A., Uche, J., & Serra, L. (2001). *La desalacion como alternativa al PHN*. España. Obtenido de <https://www.uv.es/choliz/Desalacion.pdf>

Vasquez, D. A. (2017). Diseño de investigacion del estudio de la produccion de agua apta para consumo humano utilizando un desalinizador solar en Sipacate, Escuintla. (*Tesis pregrado*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_4141\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_4141_C.pdf)



## ANEXOS

**ANEXO 1:** Certificado de los resultados obtenidos del análisis del agua subterránea salada por el laboratorio de agua BHIOS LABORATORIOS

**ANEXO 2:** Certificado de los resultados obtenidos del análisis del agua subterránea salada por el laboratorio de agua BHIOS LABORATORIOS.

**ANEXO 3:** Certificado de los resultados obtenidos del análisis del agua procesada por el laboratorio de agua PACIFIC CONTROL.

**ANEXO 4:** Límites máximos permisibles en el Reglamento de la calidad de agua para consumo humano.

**ANEXO 5:** Panel fotográfico.

**ANEXO 6:** Plano del destilador solar.



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Fiorella Mamani Callata  
identificado con DNI 73450601 en mi condición de egresado de: 135590

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
"Una Alternativa de desalinización de agua subterránea salada, construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano - Distrito Tarma, 2022"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de Diciembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Fiorella Mamani Callata  
identificado con DNI 73950604 en mi condición de egresado de: 13559D

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"Una Alternativa de desalinización de Agua Subterránea salada, Construyendo un destilador solar para la obtención de agua apta para consumo humano - Distrito Taraco, 2022"  
para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de Diciembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella