

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**COMPARACIÓN DE TRES DESTILADORES SOLARES
PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA DESTILADA
DE MAR EN TACNA, 2019**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. EDUARDO RODRÍGUEZ DELGADO

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**COMPARACIÓN DE TRES DESTILADORES SOLARES PARA
LA OBTENCIÓN DE AGUA DESTILADA DE MAR
EN TACNA, 2019**

Tesis sustentada y aprobada el 19 de octubre del 2021; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE :


Dr. Pablo Juan Franco León

SECRETARIO :


Dr. Gregorio Pedro Tejada Monroy

MIEMBRO :


Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

ASESOR :


Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Efren Chaparro, mi asesor, quien dejando de hacer muchas cosas personales, me brindó sus conocimientos, su orientación y guía en la elaboración de la presente tesis.

Por la paciencia, motivación y crítica de los Doctores Juan Franco León y Pedro Tejada Monroy para poder realizar completamente el presente trabajo.

DEDICATORIA

A mi querida madre Teresa y mi recordado padre Segundo Luis que está en el cielo, por la semilla de superación que han sembrado en mí.

A mi esposa Rosa y mis hijos Patricia y Andrés por sus recordatorios constantes y su apoyo emocional.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	v
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
RESUMO	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.1.1. Antecedentes del problema	4
1.1.2. Problemática de la investigación	5
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos:.....	6
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	6
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
1.5. OBJETIVOS.....	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. HIPÓTESIS.....	7
1.6.1. Hipótesis general.....	7
1.6.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. Destilador solar	10
2.2.2. Agua destilada	13
2.2.3. Análisis fisicoquímico de agua	14

2.2.4. Análisis microbiológico de agua	15
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	15
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	17
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	17
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	17
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	18
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	19
CAPÍTULO IV: MARCO FILOSÓFICO	22
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....	23
5.1. CONSTRUIR TRES DESTILADORES SOLARES PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA DESTILADA DE MAR	23
5.2. EVALUACIÓN DE TRES DESTILADORES SOLARES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN DE AGUA DESTILADA DE MAR	25
5.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE TRES MUESTRAS DE AGUA DESTILADA DE MAR	31
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	35
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Sistemas de destilación solar.	12
Tabla 2.	Clasificación del agua según especificaciones: ISO 3696: 1987 y la NC-ISO 3696: 2004.	14
Tabla 3.	Tratamiento y repeticiones para el desarrollo del experimento de destilación solar de agua de mar.	17
Tabla 4.	Operacionalización de Variables.	18
Tabla 5.	Destilación solar del agua de mar de la playa Vila Vila de Tacna del 2 al 25 de noviembre del 2019: Tres destiladores solares (5 L de agua de mar por bach).	26
Tabla 6.	Análisis de varianza del volumen (ml) acumulado de agua destilada de mar con tres destiladores solares.	30
Tabla 7.	Prueba de Tukey ($P = 0,05$): Comparación del volumen acumulado de agua destilada de mar en tres destiladores solares.	30
Tabla 8.	Análisis de varianza del pH de agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar.	31
Tabla 9.	Prueba de Tukey ($P = 0,05$): pH del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar.	32
Tabla 10.	Análisis de varianza de la conductividad eléctrica del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar.	32
Tabla 11.	Prueba de Tukey ($P = 0,05$): Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar.	33
Tabla 12.	Resultados del análisis microbiológico del agua de mar de tres muestras de agua destilada de mar con energía solar.	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Prototipo de destilador solar para obtener bioetanol	11
Figura 2. Destilador solar D1 tipo caja de una sola vertiente con base aislada y dos reflectores	22
Figura 3. Destilador solar D2 tipo caja de una sola vertiente con base aislada	23
Figura 4. Destilador solar D3 tipo caja de una sola vertiente sin aislamiento térmico	24
Figura 5. Destilación solar mediante el destilador solar tipo caja con dos reflectores (D1): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h	26
Figura 6. Destilación solar mediante el destilador solar tipo caja con base aislada (D2): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h	27
Figura 7. Destilación solar mediante el destilador solar tipo caja sin reflectores (D3): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h	28
Figura 8. Tres destiladores solares de agua de mar	43
Figura 9. Determinación de pH y conductividad eléctrica de las muestras de agua destilada de mar con un multiparámetro.....	44
Figura 10. Análisis microbiológico	45
Figura 11. Agua de mar para la destilación	46
Figura 12. Tomando datos destilador D3	47
Figura 13. Tomando datos destilador D2	48
Figura 14. Tomando datos destilador D1	49
Figura 15. Tomando datos destilador D1	50
Figura 16. Tres destiladores D1, D2 y D3	51

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue comparar tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar en Tacna. En la metodología se utilizó un diseño completo al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones. Se diseñó y construyó tres destiladores solares diferentes de una sola vertiente, los datos fueron analizados con el análisis de varianza complementado con la prueba de Tukey ($p=0,05$). Los resultados mostraron un rendimiento de agua destilada de mar con energía solar el cual estuvo en un promedio de 197,6 a 1340,6 ml/día (destilación solar de 8:00 a 16:00 h), las tres muestras de agua destilada tuvieron valores de pH entre 6,581 a 6,667; conductividad eléctrica de 17,788 a 97,148 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y no presentaron coliformes totales y fecales. En conclusión, en Tacna utilizando tres destiladores solares se logró obtener agua destilada de mar de buena calidad y se diferenciaron en su rendimiento.

Palabras clave: Energía solar, agua de mar, destilador solar y agua destilada.

ABSTRACT

The objective of the research was to compare three solar distillers to obtain distilled sea water in Tacna. Methodology: A randomized complete design with three treatments and five repetitions was used. Three different single-slope solar distillers were designed and built, the data were analyzed with the analysis of variance complemented with the Tukey test ($p = 0,05$). Results: The results showed a yield of distilled sea water with solar energy which was an average of 197,6 to 1340,6 ml / day (solar distillation from 8:00 a.m. to 4:00 p.m.), the three samples of distilled water had pH values between 6,581 to 6,667; electrical conductivity of 17,788 to 97,148 $\mu\text{S} / \text{cm}$ and did not show total and fecal coliforms. Conclusion: In Tacna using three solar distillers it was possible to obtain distilled sea water of good quality and they differed in their performance.

Keywords: Solar energy, sea water, solar distiller and distilled water.

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi comparar três destiladores solares para obter água do mar destilada em Tacna. Metodologia: O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e cinco repetições. Foram projetados e construídos três destiladores solares de inclinação única, os dados foram analisados com a análise de variância complementada com o teste de Tukey ($p = 0,05$). Resultados: Os resultados mostraram um rendimento de água do mar destilada com energia solar que foi em média de 197,6 a 1340,6 ml / dia (destilação solar das 8:00 às 16:00), as três amostras de a água destilada apresentou valores de pH entre 6,581 a 6,667; condutividade elétrica de 17,788 a 97,148 $\mu\text{S} / \text{cm}$ e não mostrou coliformes totais e fecais. Conclusão: Em Tacna, utilizando três destiladores solares, foi possível obter água do mar destilada de boa qualidade e diferiram em seu desempenho.

Palavras-chave: Energia solar, água do mar, destilador solar e água destil

INTRODUCCIÓN

El objetivo de la ingeniería es diseñar, construir máquinas y equipos eficientes que permitan mitigar, solucionar los problemas ambientales, aplicando tecnologías limpias, transformando, obteniendo alimentos orgánicos, obteniendo agua dentro de los requisitos establecidos por DIGESA.

En el Perú se tiene bastante energía solar que podría sustituir en un buen porcentaje a la energía convencional (Chaparro, 2006).

Un destilador solar, es aquello que forma parte de la creación tecnológica, es un dispositivo que se adquiere de los rayos del sol en un colector con elevada eficiencia (Torchia Porta y Cervantes, 2010).

También se puede indicar que la destilación solar tiene un procedimiento donde se realiza el calentamiento del agua hasta que se convierta en vapor; posteriormente se enfría el vapor y luego se recupera de manera líquida por medio del enfriamiento (Zizzias et al., 2010).

El agua para consumo humano en el mundo viene disminuyendo y ha conllevado a buscar alternativas que permitan satisfacer las necesidades de su consumo, como utilizar diferentes métodos para eliminar la sal y demás componentes del agua de mar.

En la investigación que realizaron Yabroudi et al. (2011) desalinizaron el agua utilizando un destilador tubular en el Estado de Zulia-Venezuela y obtuvieron 0,246 L/día al destilar agua sintética con 30 000 mg/L de cloruros; del mismo modo Chinappi et al. (2007) reportaron que al utilizar un equipo solar para destilar agua encontraron entre 111,90 a 369,65 L por año en época con

presencia de precipitación y sin ella, y según Hanane et al. (2012) obtuvieron muestras de agua destilada de mar, utilizando la energía solar con un pH entre 5 a 6,5.

Nuestro planeta Tierra está cubierto con más del 70 % de agua y casi su totalidad está representada por agua de mar; por ello, hay diversos tipos para desalinizar, la única diferencia es el impacto ambiental, energía que se consume y calidad del producto (Isiordia, Germán, Gonzáles y Ponce, 2012). A la actualidad, se busca como alternativa factible eliminar las impurezas del agua de mar para utilizarla, teniendo en cuenta la economía de su costo y la insuficiencia de la misma (Gómez, Palma, Obrador y Ruiz, 2018).

Una alternativa para tratar el agua de mar es por osmosis inversa, esta agua se usaría para incrementar la frontera agrícola, por lo cual los financiamientos públicos y privados en desalinización en el sector rural se consideran viables a corto tiempo. Se halló una posibilidad para la condición de la planta de 100 m³/d, regirar total o parcialmente la continuidad de la salmuera (Isiordia, López, Fimbres, Álvarez y Astorga, 2016). Con esta continuidad se pueden realizar varias iteraciones sin perjudicar de forma significativa el agua producida ni alcanzar la mayor capacidad de la planta. Mientras más sea el porcentaje recircular de salmuera, menor iteración se realizará.

El trabajo tuvo por finalidad comparar el volumen de agua destilada de mar producida por tres destiladores solares tipo caja de una sola vertiente en Tacna

En el marco teórico se desarrollan temas relacionados al proceso de destilación solar utilizando tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar en Tacna; en el marco metodológico se describe cómo se lograron los resultados. Los resultados y discusión se realizaron en función a los objetivos específicos con sus respectivas comparaciones con otros autores; Y finalmente se dan a conocer las conclusiones a las que arribó el presente

estudio, dichas conclusiones responden a las interrogantes expuestas en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

El agua es primordial para la vida, en la actualidad se viene contaminando el agua que los seres humanos consumimos para hidratarnos, preparar nuestros alimentos, entre otras formas que utilizan los seres vivos, pero existe enormes cantidades de agua salada (agua de mar), que se podría tratar y así obtener un agua saludable, que cumpla con las normas establecidas por DIGESA para el consumo humano.

La población se incrementa año tras año y si continúa la contaminación del agua dulce, esta escaseará y habrá una serie de problemas que aquejará a la humanidad, desde la agricultura hasta el consumo directo del agua dulce utilizado por la población, en general.

La radiación solar es un fuerte elemento de energía que sirve para transformarla y aprovecharla en cualquier lugar de nuestro planeta. La energía solar a nivel internacional es utilizada para cocimientos, en la destilación, secado, así como también para transformarla en corriente continua a través de paneles fotovoltaicos y transformadores.

Los procesos de destilación actuales utilizan energías convencionales que generan gases invernaderos que no permiten que salga la energía de la Tierra incrementando la temperatura de la misma. Otra tecnología usada para eliminar la sal e impurezas del agua de mar es la osmosis inversa la cual necesita de

energía para el funcionamiento de los equipos, esta energía normalmente proviene de la quema de petróleo en un motor.

1.1.2. Problemática de la investigación

El hombre viene contaminando el agua dulce que los seres vivos los utilizan como las plantas, animales, otros.

La población se incrementa año tras año y si continúa la contaminación del agua dulce, esta escaseará y habrá una serie de problemas que aquejará a la humanidad, desde la agricultura hasta el consumo directo del agua dulce utilizado por la población, en general.

La radiación solar es un fuerte elemento de energía que sirve para transformarla y aprovecharla en cualquier lugar de nuestro planeta. La energía solar a nivel internacional es utilizada para cocimientos, en la destilación, secado, así como también para transformarla en energía eléctrica, entre otros usos.

Existen enormes cantidades de agua salada (agua de mar), que se podría tratar y así obtener agua saludable.

Por consiguiente, se realizó una investigación donde se comparó tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar en Tacna.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál de los tres destiladores solares es mejor para la obtención de agua destilada de mar en Tacna?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Sería factible construir tres destiladores solares para obtener agua destilada de mar?
- ¿Con cuál de los tres destiladores solares se obtiene mayor volumen de agua destilada de mar?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas de las tres muestras de agua destilada de mar?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Justificación

El trabajo contribuye a un desarrollo sostenible al utilizar una energía limpia en tres sistemas de destilación solar que no producen dióxido de carbono para la obtención de agua destilada de mar en Tacna, reemplazando a la energía proveniente del petróleo, leña, otros que producen CO₂.

Desde el punto de vista socioeconómico, la población tendrá una alternativa en la obtención de agua destilada de mar de bajo costo en zonas donde no se tiene agua dulce.

Importancia

El trabajo de investigación es importante porque nos permite aprovechar la energía solar térmica renovable con el uso de tecnología accesible en procesos de destilación obteniendo agua limpia y también para las necesidades de la población; el agua de mar, es un recurso importante y abundante, la investigación servirá para obtener agua destilada de mar sin contaminar el ambiente.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

La única limitación que tuvo la presente investigación para obtener buenos rendimientos en agua destilada de mar fue la presencia de nubes durante las pruebas experimentales.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Comparar tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar en Tacna.

1.5.2. Objetivos específicos

- Construir tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar.
- Evaluar tres destiladores solares en función al volumen de agua destilada de mar
- Analizar fisicoquímica y microbiológicamente las tres muestras de agua destilada de mar.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

La comparación de tres destiladores solares permite determinar el mejor destilador para la obtención de agua destilada de mar en Tacna.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Sí es posible construir tres destiladores solares de agua de mar.
- La evaluación de tres destiladores solares permite determinar el que obtiene mayor volumen de agua destilada de mar.
- El análisis fisicoquímico y microbiológico del agua destilada de mar permite determinar su calidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Chaparro (2018) en su trabajo de investigación construyó un destilador tipo caja con 60 cm de largo 30 cm de ancho y 15 cm de alto; tuvo una masa de 5,5 kg, el pH del agua de mar fue de 7,8033 y su conductividad eléctrica fue de 47 566,667 $\mu\text{S}/\text{cm}$; y durante un día soleado se obtuvo 351,67 ml de agua destilada de mar, con energía solar durante 8 h, con un pH de 6,9733 y una conductividad eléctrica de 91,9667 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Chaparro (2006) reportó que a las 08:00 h existe una irradiancia solar de 769,6 W/m^2 y a las 11:00 h una irradiancia solar de 1002,5 w/m^2 durante el proceso de destilación solar de pisco con una cocina solar parabólica SK-12.

Hanane et al. (2012) en un estudio experimental que realizaron, utilizaron un equipo de destilación solar de agua de mar en Fouka-Argelia de 10 a 14:00 h en el día 06/07/2010, se observó que iba aumentando el rendimiento en intervalo de tiempo para altas temperaturas que alcanzaron los 70 a 107 $^{\circ}\text{C}$ y como resultado se obtuvo rendimientos promedios de agua destilada de mar de 4 $\text{L}/\text{m}^2/\text{día}$ y con pH entre 6 a 6,5.

Yabroudi et al. (2011) desalinizaron el agua empleando un destilador tubular, esto lo realizaron en el Estado de Zulia-Venezuela y se obtuvo como resultado de su investigación 0,246 $\text{L}/\text{día}$ al destilar agua sintética con 30 000 mg/L de cloruros.

Chinappi et al. (2007) en una investigación al usar un sistema de destilación solar obtuvieron agua destilada entre 111,90 a 368,65 L por año sobre todo en época con y sin presencia de precipitaciones.

Ruiz (s.f.) destiló agua de mar de 9:30 a 14:30 h, con 500 ml de agua de mar, teniendo durante el procedimiento una conductividad eléctrica de 60 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, obteniéndose como resultado de 160 a 368 ml de agua destilada con una dureza total de 10 a 19 mg/L de CaCO_3 y con una conductividad eléctrica de 15,08 a 21,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

DIGESA (2011) establece límites máximos en el agua con pH entre 6,5 a 8,5; conductividad eléctrica de 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como máximo; la dureza total máxima es de 500 mg/L CaCO_3 ; en cuanto al cloruro máximo es de 250 mg/L y los contenidos de sulfatos tiene que ser como máximo 250 mg/L.

Mamani y Chambilla (2009) en su trabajo de análisis al agua reportaron los siguientes componentes: pH 6,86; conductividad eléctrica 1 283 $\mu\text{S}/\text{cm}$; dureza total 306 mg/L; cloruros 165 mg/L; sulfatos 296 mg/L; 21 mg/L.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Destilador solar

En el sol se produce la fusión de componentes que producen una energía que llega al planeta Tierra (Satin, 2000).

La energía renovable que produce el sol es una energía limpia, el ser humano lo utiliza para algunas necesidades. En la actualidad, las necesidades de energía hacen que la humanidad sea más eficiente al utilizar la energía (Balcázar, 2008).

La energía solar se usa con dos fines, la primera para aumentar la temperatura de hogares o líquidos, es decir con fines térmicos, y el segundo fin es la producción de corriente alterna a través de paneles fotovoltaicos y transformadores (Huezo y Moran, 2012).

El sistema para destilar agua se centra en una cocina solar parabólica de aluminio anodizado que refleja la energía solar en un eje focal donde se encuentra un alambique de color negro y un condensador (Chaparro, 2005).

En la destilación de líquidos se usan equipos solares de elevada eficiencia (Toechia, Porta y Cervantes, 2007), esto se realiza al pasar del estado líquido al vapor y luego llevarlo a la temperatura de punto de rocío mediante un condensador obteniendo agua destilada (Zizzias et al., 2010).

Existen diferentes equipos de destilación solar, uno de ellos se muestra en la figura 1 donde se obtiene alcohol.



Figura 1. Equipo de destilación solar en la obtención de alcohol

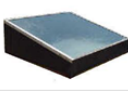
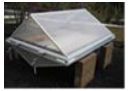
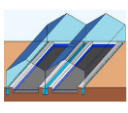
Fuente: Balcázar (2008)

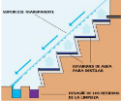
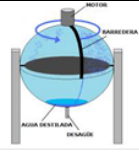
Sistemas de destilación solar

En el mundo existen numerosos sistemas de destilación solar, cinco de ellos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

Sistemas de destilación solar

Tipos de destiladores solares	Descripción	Característica general	Diseño
Destilador solar de una vertiente DS1	Consta de una caja cubierta por un cristal inclinado. Está dividida en dos partes, la primera donde se evapora el agua el cual está pintada de color negro mate y la segunda parte es donde se receptiona el agua destilada.	Modelo de destilador más sencillo de estructura	
Destilador solar de dos vertientes o tipo caseta DS2	Tiene un “tejado” de material transparente de dos vertientes. La radiación del sol hace que el líquido cambie al estado de vapor y como está a doble agua o en v, lugar donde se condensa y cae el agua a un recipiente.	Modelo más conocido y difundido en el mundo	
Destilador solar de invernadero DS3	Es un sistema tipo invernadero, en la parte de arriba algo transparente para que ingrese la energía solar y en la parte de abajo un cuerpo oscuro de color negro, el equipo tiene poca	Modelo de destilador solar de gran tamaño	

	altura, el agua condensada se obtiene de las paredes.	
Destilador solar de cascada DS4	Es un sistema de destilación como gradas, tiene un material transparente para que ingrese la energía solar el cual se concentra en el cuerpo negro, el ambiente se calienta, se evapora el agua, se condensa y se recepciona en la parte de abajo.	Modelo con una mejor acumulación de energía térmica
		
Destilador solar esférico de barredera DS5	Compuesta por un material transparente que envuelve al sistema para que ingrese la energía solar y sea captada por el color oscuro en el medio donde se encuentra el agua a destilar.	Modelo más complejo y eficiente
		

Fuente: Huezco y Moran (2012)

2.2.2. Agua destilada

El agua contiene diversos minerales que elevan la conductividad eléctrica elevando su dureza por la presencia de los cationes y aniones como el calcio, magnesio, otros (Valdivia, Valdés y Gómez, 2010).

El agua destilada es H₂O sin compuestos añadidos. Según Rodríguez, R.; Rodríguez, J. y Perdomo (2013) indican que los minerales son medidos a través de equipos que determinan la conductividad eléctrica del agua.

2.2.3. Análisis fisicoquímico de agua

El agua que se encuentra en el ambiente contiene:

- Compuestos inorgánicos
- Compuestos orgánicos, microorganismos, pirógenos, partículas
- Compuestos gaseosos (Valdivia, Valdés y Gómez, 2010).

En la Tabla 2 se reporta la clasificación del agua según ISO 3696: 1987 y la NC-ISO 3696: 2004.

Tabla 2

Clasificación del agua según especificaciones: ISO 3696: 1987 y la NC-ISO 3696: 2004

Parámetros fisicoquímicos	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Conductividad eléctrica, valor máximo a 25 °C $\mu\text{S/cm}$	0,1	1	5
Resistividad $\text{M}\Omega\text{m}$	10	1	0,25
Absorbancia (UA a 254 nm)	0,001	0,01	---
Sílice total valor máximo mg/L	0,01	0,02	1
pH	---	---	5,0 a 7,5

Fuente: Valdivia, Valdés y Gómez, 2010.

DIGESA (2011) indica que para el agua potable la conductividad eléctrica será menor a 1500 $\mu\text{S/cm}$ y para el pH entre 6,5 a 8,5.

2.2.4 Análisis microbiológico de agua

El agua si no es potabilizada afecta al ser humano produciéndoles intoxicaciones por presencia de productos químicos, enfermedades por microorganismos, y en ocasiones produce la muerte (Rodríguez et al., 2009).

En el cultivo realizado para verificar la presencia de coliformes totales en el agua suministrada por APAAS muestra proveniente de Sebastián Pagador, Bolivia, no hubo crecimiento de colonias (Rodríguez et al., 2009).

El agua de consumo humano debe tener como máximo en Coliformes totales verificada a 35 °C NMP/100 ml $\leq 1,8$ y Coliformes fecales verificada a 44,5 °C NMP/100 ml $\leq 1,8$ ambos mediante la metodología de tubo doble (DIGESA, 2011).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Agua de mar

Es el líquido salado que se encuentra en los océanos (Turabián y Pérez, 2015).

Agua destilada

Es una operación unitaria donde el líquido por acción del calor pasa al estado de vapor y posteriormente se recupera por condensación (Monasterio, 1996).

Destilación solar

Es un proceso donde se utiliza un equipo activado con energía solar, el líquido pasa al estado de vapor y posteriormente se recupera por enfriamiento

(Chaparro, Cerro y Palma, 2006).

Energía solar

Energía producida por fusión de componentes a elevadas temperaturas y es irradiada llegando a la Tierra (Rodríguez, 2009).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó un diseño completamente aleatorio con tres tratamientos y cinco replicas (Tabla 3).

Tabla 3

Tratamiento y repeticiones para el desarrollo del experimento de destilación solar de agua de mar

Tratamientos	Repeticiones				
	R1	R2	R3	R4	R5
T1					
T2					
T3					

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra fue el agua de mar de la playa Vila Vila de la provincia de Tacna, se consideró en total 150 L de agua de mar.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables (Tabla 4), donde se observa las variables independientes y dependientes, sus dimensiones y sus indicadores del presente trabajo de investigación.

Tabla 4

Operacionalización de Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
1. Variable independiente		
X1= Destilador solar	Tipo	Masa
2. Variable dependiente		
Y1= Agua destilada	Cantidad de agua	Volumen
Y2= Análisis fisicoquímico	Componentes	Acidez real Conductividad eléctrica
Y3= Análisis microbiológico	Microorganismos	Coliformes fecales Coliformes totales

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

Construir tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar

Se construyó tres destiladores solares de agua de mar, el primero un destilador de una sola vertiente con base aislada y dos reflectores (D1), el segundo un destilador solar de una sola vertiente con base aislada (D2) y el tercero fue un destilador solar con una sola vertiente (D3).

Evaluar tres destiladores solares en función al volumen de agua destilada de mar

La evaluación del proceso de destilación comparando los tres destiladores solares de agua de mar se realizó en tiempos definidos de 8 horas por día en función al volumen de agua destilada obtenido el cual fue medido con una probeta.

Analizar fisicoquímica y microbiológicamente las tres muestras de agua destilada de mar

Análisis fisicoquímico

Determinación de la conductividad eléctrica

Se realizó con el uso de un multiparámetro a lectura directa.

Determinación del pH

Según el método del multiparámetro a lectura directa.

Determinación del volumen

Se realizó con una probeta de 500 ml de capacidad.

Análisis microbiológicos

- **Determinación de coliformes totales**

Se realizó mediante la técnica de diluciones en tubo múltiple (NMP/100 ml) a 35 °C.

- **Determinación de coliformes fecales.**

Se realizó mediante la técnica de diluciones en tubo múltiple (NMP/100 ml) a 44,5 °C.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Construir tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar

Se comparó el peso y demás características de los tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar.

Evaluar tres destiladores solares en función al volumen de agua destilada de mar

La evolución del volumen de destilado en la destilación de agua de mar se analizó con el coeficiente de determinación (R^2) mediante el programa estadístico Sigma Plot V 12 ($p = 0,05$); para la evaluación del volumen final del destilado se realizó mediante un ANVA y la prueba de Tukey ($p = 0,05$) mediante el programa estadístico SPSS (PASW Statistics) V 18.

Analizar fisicoquímica y microbiológicamente las tres muestras de agua destilada de mar

Se utilizó el ANVA, con la finalidad de determinar si difieren entre si el agua destilada obtenida con energía solar y se complementó con la prueba de Tukey ($p = 0,05$) mediante el programa estadístico SPSS (PASW Statistics) V 18.

CAPÍTULO IV

MARCO FILOSÓFICO

El ambiente es un lugar donde se encuentra la diversidad biológica y de manera equilibrada se mantiene viva, el hombre toma conciencia que la vida en el planeta y los recursos son finitos, las ciencias ayudan a entender con un pensamiento global que todos somos importantes en el planeta tierra, que todos ayudamos a se restauren y recuperen sitios devastados o impactados como consecuencia de la actividad antrópica (Leff, 2006).

La filosofía, las ciencias naturales y también las sociales ayudan a entender que la interdisciplinariedad es el futuro próximo para el cuidado de la biósfera (Bugallo, 2007). Por tal motivo es primordial aplicar desarrollo armónico a través de la educación ambiental en las instituciones que imparten conocimiento científico.

La contaminación del agua dulce está disminuyendo la calidad de vida del ser humano por tanto buscar alternativas que permitan obtener agua con similares características al agua potable conlleva a diseñar y construir equipos de bajo costo económico, el agua de mar constituye más del 70 % de la parte física de la Tierra y el mundo recibe a diario energía solar; con la presente investigación se pretende emplear la energía solar a través de tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar y solucionar el problema de escases de agua dulce, las repeticiones del experimento permiten asegurar la veracidad de los datos confirmándolo con el coeficiente de variabilidad el cual será muy bajo en el análisis de varianza. Con esta tecnología limpia se obtendrán modelos matemáticos que evalúan la evolución en la obtención de agua destilada de mar.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 CONSTRUIR TRES DESTILADORES SOLARES PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA DESTILADA DE MAR

Destilador solar

En la Figura 2 se presenta el destilador solar tipo caja de una sola vertiente con base aislada y dos reflectores, las dimensiones fueron: Largo 102 cm, ancho de 66 cm y una altura de 50 cm (alto de base aislada 13 cm y 37 cm de alto de zona de aire) y tuvo una masa de 27 kg. Para ambos casos el reflector fue de 70 cm de largo y 40 cm de ancho.

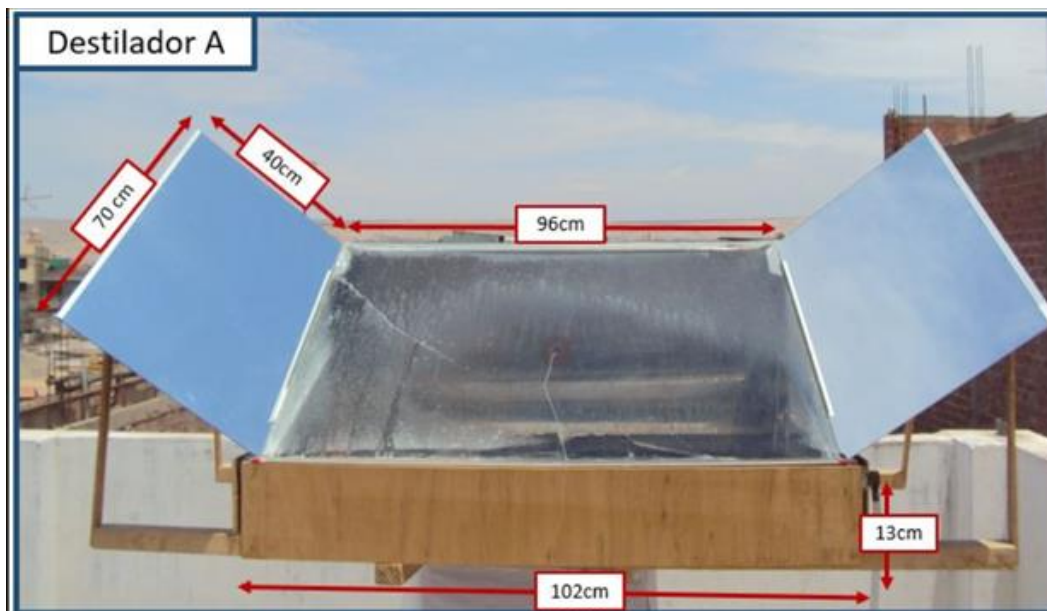


Figura 2. Destilador solar D1 tipo caja de una sola vertiente con base aislada y dos reflectores

En la Figura 3 se presenta el destilador solar tipo caja de una sola vertiente con base aislada, las dimensiones fueron: Largo 102 cm, ancho de 66 cm y una altura de 50 cm (alto de base aislada 13 cm y 37 cm de alto de zona de aire) y tuvo una masa de 21 kg.

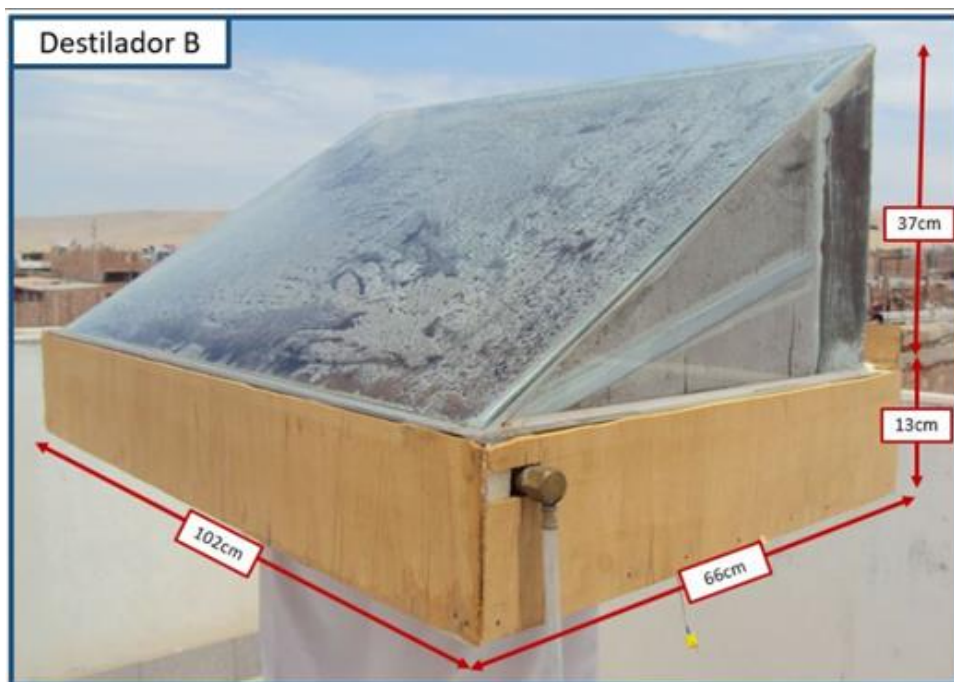


Figura 3. Destilador solar D2 tipo caja de una sola vertiente con base aislada

En la Figura 4 se presenta el destilador solar tipo caja de una sola vertiente, las dimensiones fueron: Largo 96 cm, ancho de 60 cm y una altura de 50 cm (alto de base 10 cm y 37 cm de alto de zona de aire) y tuvo una masa de 18 kg.



Figura 4. Destilador solar D3 tipo caja de una sola vertiente sin aislante térmico

5.2 EVALUACIÓN DE TRES DESTILADORES SOLARES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN DE AGUA DESTILADA DE MAR

Evolución y controles de la destilación solar de agua de mar en tres destiladores solares

En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos de la destilación solar del agua de mar de la playa Vila Vila de Tacna del 2 al 25 de noviembre del 2019: Tres destiladores solares (15 L de agua de mar por bach).

Tabla 5

Destilación solar del agua de mar de la playa Vila Vila de Tacna del 2 al 25 de noviembre del 2019: Tres destiladores solares (5 L de agua de mar por bach)

Hora del día (h)	Tiempo (min)	Promedio de la irradiancia solar en cinco días (W/m ²)	Promedio de volumen de agua destilada de mar en cinco días (ml)		
			A	B	C
08:00	0	361,80	0,00	0,00	0,00
08:30	30	451,39	10,80	10,80	10,80
09:00	60	583,55	34,20	34,20	34,20
09:30	90	681,56	67,00	67,00	67,00
10:00	120	775,55	119,20	119,20	119,20
10:30	150	832,18	188,00	188,00	188,00
11:00	180	1004,55	286,40	286,40	286,40
11:30	210	998,64	403,20	403,20	403,20
12:00	240	987,69	529,20	529,20	529,20
12:30	270	949,29	661,40	661,40	661,40
13:00	300	891,45	798,80	798,80	798,80
13:30	330	809,23	925,60	925,60	925,60
14:00	360	723,29	1036,60	1036,60	1036,60
14:30	390	618,95	1134,00	1134,00	1134,00
15:00	420	587,36	1216,00	1216,00	1216,00
15:30	450	507,80	1284,60	1284,60	1284,60
16:00	480	394,57	1340,60	1340,60	1340,60

En la Figura 5 se presenta la destilación solar mediante el destilador solar tipo caja con dos reflectores (D1): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h. Se obtuvo agua destilada de mar con el destilador solar D1, el cual fue de $R^2 = 0,9997$; el R^2 ajustado = $0,9994$ y, por lo tanto, se eligió el modelo matemático que más se ajustó por la ecuación polinomial cúbica:

$$Y \text{ (volumen de agua destilada, ml)} = 21,5513 - 1,2671X + 0,0201X^2 - 0,000024438X^3$$

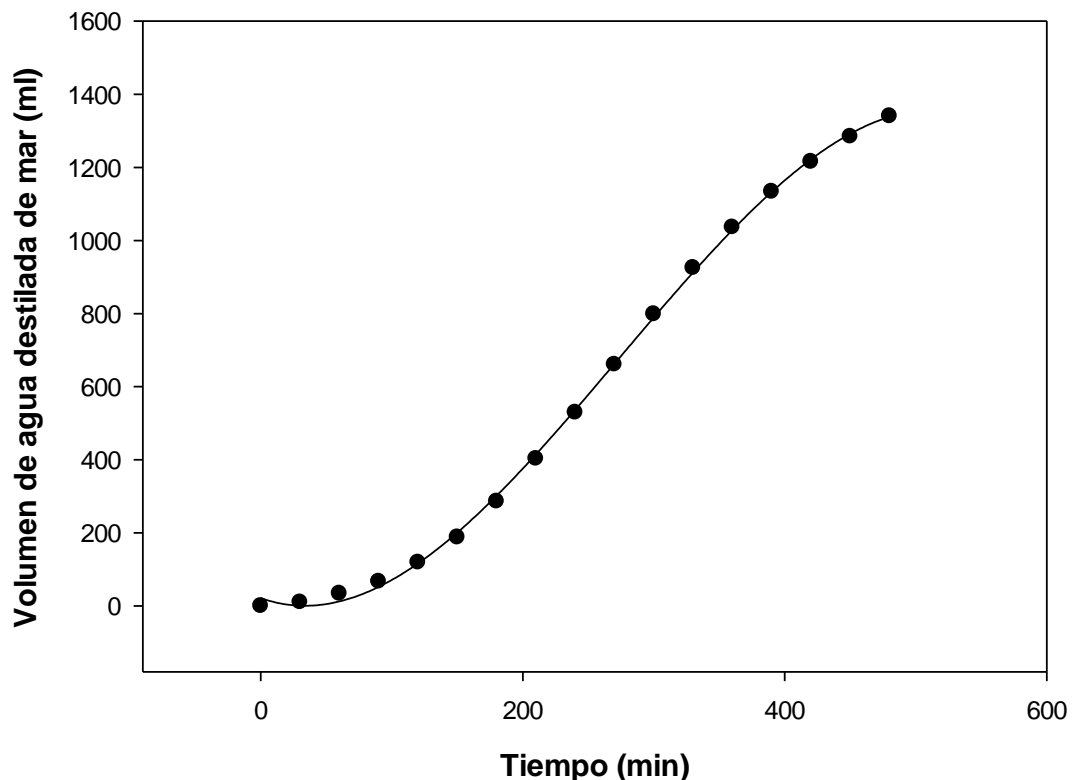


Figura 5. Destilación solar mediante el destilador solar tipo caja con dos reflectores (D1): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h

En la Figura 6 se presenta la destilación solar mediante el destilador solar tipo caja sin reflectores (D2): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml)

vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h. Se obtuvo agua destilada de mar con el destilador solar D2, el cual fue de $R^2 = 0,9993$; y el R^2 ajustado = 0,9987 y, por lo tanto, se eligió el modelo matemático que más se ajustó por la ecuación polinomial cúbica:

$$Y \text{ (volumen de agua destilada, ml)} = 10,8865 - 0,6258X + 0,0061X^2 - 0,000006385X^3$$

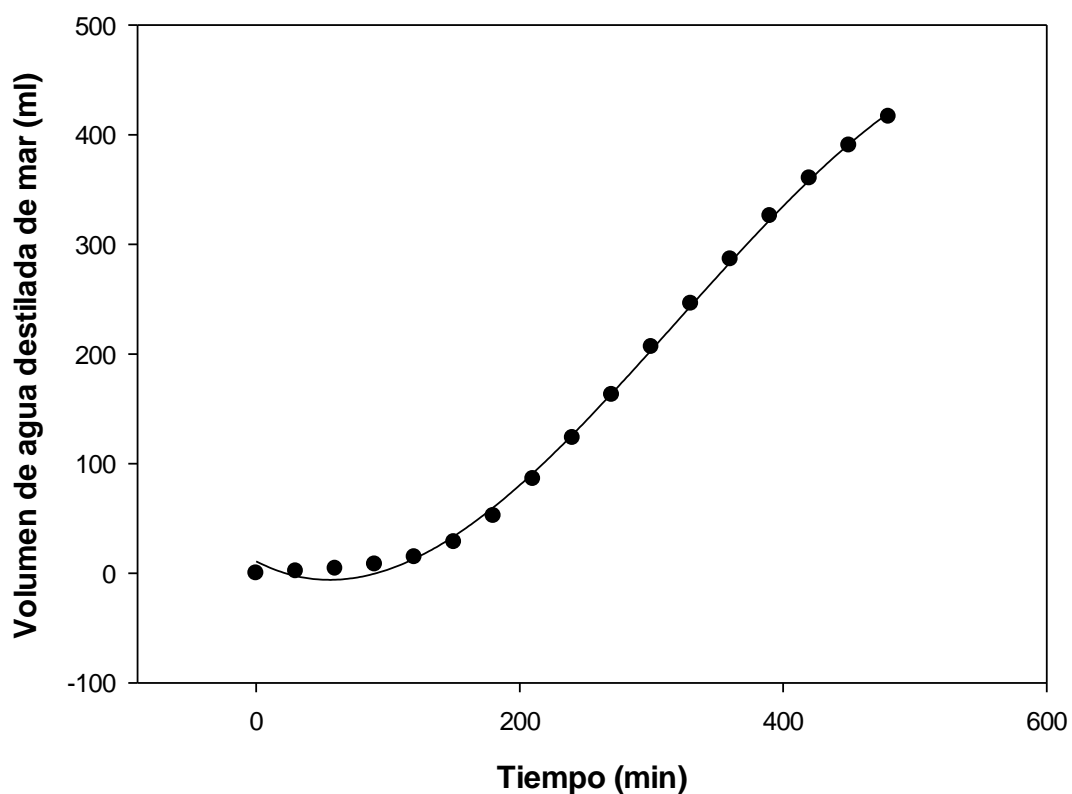


Figura 6. Destilación solar mediante el destilador solar tipo caja con base aislada (D2): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h

En la Figura 7 de presenta la destilación solar mediante el destilador solar tipo caja (D3): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h. Se obtuvo agua destilada de mar con el destilador solar D2, el cual fue de $R^2 = 0,9993$; para el coeficiente ajustado fue R^2 ajustado =

0,9986 y, por lo tanto, se eligió el modelo matemático que más se ajustó por la ecuación polinomial cúbica:

$$Y \text{ (volumen de agua destilada, ml)} = 3,6824 - 0,2565X + 0,0037X^2 - 0,00000493X^3$$

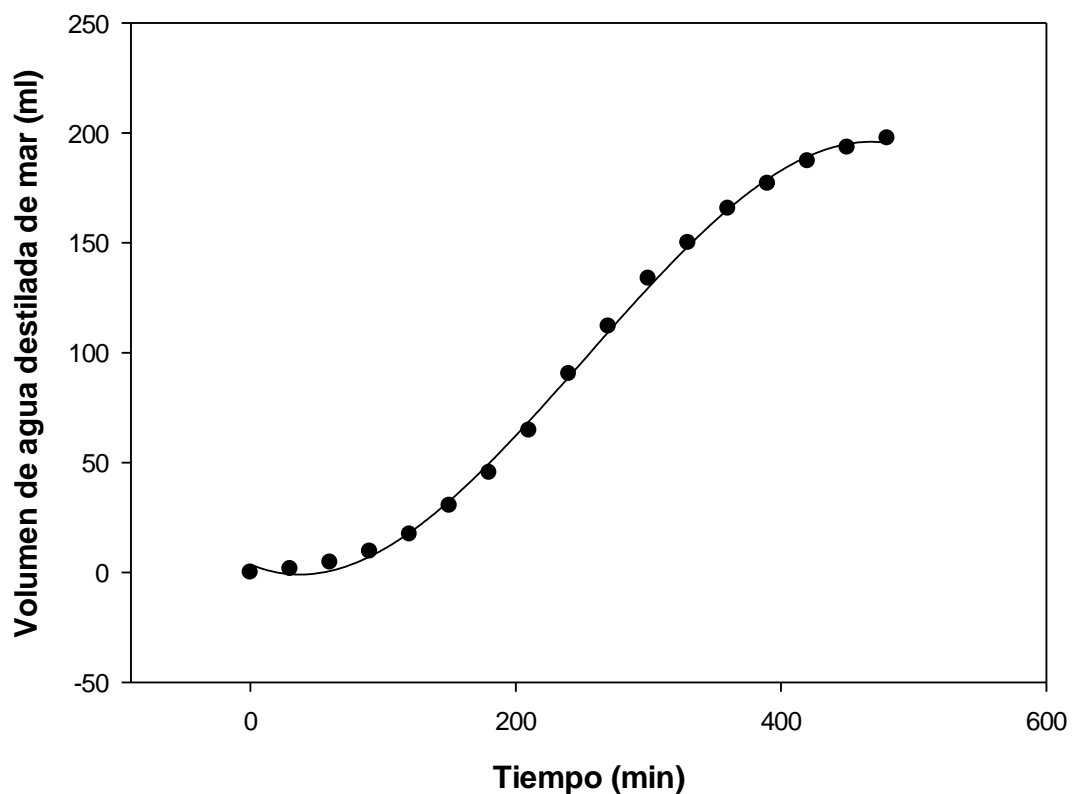


Figura 7. Destilación solar mediante el destilador solar tipo caja sin reflectores (D3): Volumen de agua destilada de mar acumulado (ml) vs tiempo (min): 8:00 a 16:00 h

Comparación del volumen de agua destilada de mar obtenido a través de tres destiladores solares

El análisis de varianza del volumen (ml) acumulado de agua destilada de mar con tres destiladores solares (tabla 6) reporta que existe una elevada diferencia significativa ($p = 0,01$) entre los tratamientos, con un CV de 12,362 %.

Tabla 6

Análisis de varianza del volumen (ml) acumulado de agua destilada de mar con tres destiladores solares

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	3680310,000	2	1840155,000	283,589	0,0001
Error	77865,600	12	6488,800		
Total	3758175,600	14			

CV=12,362 %

La prueba de Tukey ($P = 0,05$): Comparación del volumen acumulado de agua destilada de mar en tres destiladores solares (tabla 7) reporta que el destilador solar tipo caja con base aislada y dos reflectores (D1) tuvo el máximo volumen de agua destilada con 1 340,60 ml y se diferenció con respecto a los demás destiladores, el destilador solar tipo caja con base aislada (D2) ocupó el segundo lugar con 416,60 ml y se diferenció con respecto al destilador solar tipo caja (D3) el cual obtuvo 197,60 ml de agua destilada de mar.

Tabla 7

Prueba de Tukey ($P = 0,05$): Comparación del volumen acumulado de agua destilada de mar en tres destiladores solares

N°	Tratamiento	Promedio (ml)	Significancia
1	Destilador solar con base aislada y dos reflectores (D1)	1340,600	a
2	Destilador solar con base aislada (D2)	416,600	b
3	Destilador solar (D3)	197,600	c

5.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE TRES MUESTRAS DE AGUA DESTILADA DE MAR

La Tabla 8 muestra el análisis de varianza del pH de agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar, reporta que hay una elevada diferencia significativa ($p = 0,01$) entre los tratamientos con un CV de 0,080 %.

Análisis fisicoquímico

Tabla 8

Análisis de varianza del pH de agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	6,04100	3	2,014000	65591,79	0,0001
Error	0,00049	16	0,000031		
Total	6,04149	19			

CV=0,080 %

La Tabla 9 muestra la prueba de Tukey ($P = 0,05$): pH del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar, el cual indica que el pH del agua de mar es el más elevado con 7,882 y se diferenció con respecto a las demás muestras de agua destilada de mar, el menor pH lo obtuvo con el destilador solar (D3) el cual fue de 6,581.

Tabla 9

Prueba de Tukey (P = 0,05): pH del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar

Nº	Tratamiento	Promedio	Significancia
1	Agua de mar	7,882	a
2	Destilador solar con base aislada y dos reflectores (D1)	6,667	b
3	Destilador solar con base aislada (D2)	6,596	c
4	Destilador solar (D3)	6,581	d

La Tabla 10 muestra el análisis de varianza de la conductividad eléctrica del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar la cual reporta una elevada diferencia significativa entre los tratamientos ($p = 0,01$) y con un CV de 0,351 %.

Tabla 10

Análisis de varianza de la conductividad eléctrica del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamiento	8472809482,982	3	2824269827,66	1613253,82	0,0001
Error	28010,668	16	1750,67		
Total	8472837493,650	19			

CV=0,351 %

En la Tabla 11 se muestra la prueba de Tukey ($P = 0,05$): Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar la cual reporta que el agua de mar tuvo la más elevada conductividad eléctrica ($47\,580\ \mu\text{S/cm}$) y se diferenció con respecto a las demás muestras, entre el agua obtenido con el destilador solar A ($97,148\ \mu\text{S/cm}$) y destilador B ($25,286\ \mu\text{S/cm}$) no hubo diferencia significativa, entre el agua destilada con el destilador solar B y C ($17,778\ \mu\text{S/cm}$) no se diferenciaron entre sí.

Tabla 11

Prueba de Tukey ($P = 0,05$): Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar

N°	Tratamiento	Promedio ($\mu\text{S/cm}$)	Significancia
1	Agua de mar	47580,000	a
2	Destilador solar con base aislada y dos reflectores (D1)	97,148	b
3	Destilador solar con base aislada (D2)	25,286	b c
4	Destilador solar (D3)	17,788	c

Análisis microbiológico

La Tabla 12 muestra los resultados del análisis microbiológico del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar, la cual reporta que las tres muestras de agua destilada con tres destiladores solares cumplen los requisitos microbiológicos de coliformes totales y coliformes fecales y el agua de mar no cumple en coliformes totales requisitos establecidos por DIGESA, 2011.

Tabla 12

Resultados del análisis microbiológico del agua de mar de tres muestras de agua destilada de mar con energía solar

Tratamiento	Ensayos		Agua potable-LMP parámetros microbiológicos NMP por tubos dobles $\leq 1,8/100$ ml Cumplimiento	
	Coliformes totales verificada a 35 °C (NMP/100 ml)	Coliformes fecales verificada a 44,5 °C (NMP/100 ml)	Coliformes totales verificada a 35 °C (NMP/100 ml)	Coliformes fecales verificada a 44,5 °C (NMP/100 ml)
Destilador solar con base aislada y dos reflectores (D1)	<1,8	<1,8	SÍ	SÍ
Destilador solar con base aislada (D2)	<1,8	<1,8	SÍ	SÍ
Destilador solar (D3)	<1,8	<1,8	SÍ	SÍ
Agua de mar	1,7X10 ⁵	<1,8	NO	SÍ

Fuente: Dirección Regional de Salud Tacna DIGESA (2011)

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

Construir tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar

Destilador solar

En la Figura 2 se presenta el destilador solar tipo caja de una sola vertiente con base aislada y dos reflectores (D1), (dimensiones fueron: Largo 102 cm, ancho de 66 cm y una altura de 50 cm) y tuvo una masa de 27 kg, siendo su peso superior al destilador solar tipo caja de una sola vertiente con base aislada (D2) (dimensiones fueron: Largo 102 cm, ancho de 66 cm y una altura de 50 cm) y tuvo una masa de 21 kg y al destilador solar tipo caja de una sola vertiente (dimensiones fueron: Largo 96 cm, ancho de 60 cm y una altura de 50 cm) el cual tuvo una masa de 18 kg. Los tres destiladores solares fueron superiores en tamaño a lo reportado por Chaparro (2018) quien construyó un destilador tipo caja con 60 cm de largo, 30 cm de ancho y 15 cm de alto y tuvo una masa de 5,5 kg.

Evaluación de tres destiladores solares en función al volumen de agua destilada de mar

Evolución y controles de la destilación solar de agua de mar en tres destiladores solares

Los resultados obtenidos de la destilación solar del agua de mar de la playa Vila Vila de Tacna del 2 al 25 de noviembre del 2019: Tres destiladores solares (Tabla 5), indica que a las 8:00 h durante cinco días la irradiancia solar

tuvo un promedio de 361,80 w/m² y a las 11:00 h tuvo un promedio máximo de 1004,55 w/m² resultado que se asemeja a lo indicado por Chaparro (2006) quien reportó a las 08:00 h irradiancia solar de 769,6W/m² y a las 11:00 h una irradiancia solar de 1002,5 w/m² durante el proceso de destilación solar de pisco con una cocina solar parabólica SK-12.

En la Tabla 7 se reporta que el destilador solar tipo caja con base aislada y dos reflectores (D1) tuvo el máximo volumen de agua destilada con 1 340,60 ml y se diferenció con respecto a los demás destiladores, el destilador solar tipo caja con base aislada (D2) tuvo 416,60 ml y el destilador solar tipo caja (D3) tuvo 197,60 ml de agua destilada de mar, resultado similar (D2) a lo reportado por Chaparro (2018) quien obtuvo en un destilador tipo caja 351,17 ml de agua destilada de mar durante 8 h, del mismo modo Yabroudi et al. (2011) quienes desalinizaron el agua empleando un destilador tubular reportando 0,246 L/día al destilar agua sintética con 30 000 mg/L de cloruros, del mismo modo similar a lo indicado por Ruiz (s.f.) quien reportó 500 ml de agua destilada de mar en 5 horas y Chinappi et al (2007) quienes desalinizaron el agua de mar obteniendo entre 111,90 a 368,65 L/año. Sin embargo, el resultado de la presente investigación es inferior a lo reportado por Hanane et al. (2012) quienes desalinizaron el agua de mar de Fouka-Argelia de 10 a 14:00 h obteniendo rendimientos promedios de agua destilada de mar de 4 L/m²/día. Estas diferencias se deben por el tamaño y altura del destilador, irradiancia solar, temperatura y humedad relativa.

Análisis fisicoquímico y microbiológico de tres muestras de agua destilada de mar

Evaluación fisicoquímica

El agua de mar tuvo un pH de 7,882 y se diferenció con respecto a las demás muestras de agua destilada de mar, con el destilador solar D1 se obtuvo un pH de 6,667; con el destilador D2 6,596 y con el destilador C 6,581 de pH; los resultados de pH fueron similares a lo encontrado por Hanane et al. (2012)

quienes reportaron pH entre 6 a 6,5 y Chaparro (2008) quien reportó un pH de 6,973 en el agua destilada de mar.

En la Tabla 11 se muestra la prueba de rango múltiple de Tukey ($P = 0,05$): Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar la cual indica que el agua de mar tuvo la más elevada conductividad eléctrica con $47\,580\ \mu\text{S}/\text{cm}$; el agua obtenida con el destilador solar D1 tuvo $97,148\ \mu\text{S}/\text{cm}$; el agua destilada con el destilador D2 $25,286\ \mu\text{S}/\text{cm}$ y el agua destilada en el destilador solar D3 $17,778\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Los resultados obtenidos del agua destilada de mar son similares a lo indicado por Chaparro (2018) quien reportó conductividad eléctrica en el agua destilada de mar de $91,9667\ \mu\text{S}/\text{cm}$ y Ruiz (s.f.) quien reporto conductividad eléctrica entre $15,08$ a $21,75\ \mu\text{S}/\text{cm}$ al destilar agua de mar, sin embargo, son inferiores a lo indicado por Mamani y Chambilla (2009) quienes reportaron conductividad eléctrica en el agua para consumo humano de Huanuara-Tacna de $1\,283\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

Las tres muestras de agua destilada de mar cumplen los requisitos establecidos por DIGESA (2011) en el reglamento de calidad del agua para consumo humano, el cual establece límites máximos que son permisibles de pH entre 6,5 a 8,5 y conductividad eléctrica de $1\,500\ \mu\text{S}/\text{cm}$.

Evaluación microbiológica

La Tabla 12 muestra los resultados del análisis microbiológico del agua de mar y tres muestras de agua destilada de mar con energía solar, la cual indica que las tres muestras de agua destilada con destiladores solares (D1, D2 y D3) cumplen los requisitos establecidos por DIGESA (2011) para el agua potable referido a los límites máximos permisibles para parámetros microbiológicos en Coliformes totales verificada a $35\ ^\circ\text{C}$ (NMP/100 ml) y Coliformes fecales verificada a $44,5\ ^\circ\text{C}$ (NMP/100 ml).

CONCLUSIONES

1. En Tacna utilizando tres destiladores solares se logró obtener agua destilada de mar de buena calidad y se diferenciaron en su rendimiento.
2. Se construyó tres destiladores solares de agua de mar, el primero un destilador tipo caja con base aislada y dos reflectores (D1) con una masa de 27 kg, el segundo un destilador solar tipo caja con base aislada (D2) de 21 kg y un destilador solar tipo caja (D3) de 18 kg todos de una sola vertiente.
3. La evaluación del proceso de destilación de los tres destiladores solares de agua de mar permitió determinar que la base aislada y los reflectores influyen en la obtención de agua destilada, resultando mejor el destilador D1 con 1 340,60 ml durante 8 horas (167,575 ml/h).
4. Las tres muestras de agua destilada de mar con energía solar cumplen los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos (coliformes totales y fecales) establecidos por DIGESA (2011), y se concluye que a menor temperatura de destilación menor pH y conductividad eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de investigación con destiladores solares para destilar agua residual doméstica, agua residual de empresas agroindustriales.
2. Evaluar el uso del agua destilada de mar para la forestación de zonas desérticas cerca al mar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, C., Serna, F. (2012). *Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica*, Recuperado de <http://www.publicacionescidet.com/wp-content/uploads/2016/11/NORMATIVIDADenergiaSolar.pdf>.
- Balcázar, S. (2008). *Desarrollo de un prototipo de destilador solar para obtener bioetanol a partir de vino de mango (Mangifera indica L.)*, Recuperado de <http://www.edpcollege.info/ebooks-pdf/T2547.pdf>
- Bugallo, A. I. (2007). *Avances en filosofía y medio ambiente en iberoamérica*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169419796002.pdf>
- Chaparro M. E. (2006). *Empleo de la energía solar en la operación de destilado para la obtención de pisco puro Italia*. Tacna. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias UNJBG.
- Chaparro, E. (2018). *Comparación de dos destiladores solares para la obtención de agua de mar en Tacna, 2017* Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Alas Peruanas.
- Chinappi, I., Jerez, A., y Rosales, J. (2007). *Destilador de agua solar: alternativa para potabilizar agua en zonas rurales y determinación de costos*. Academia Vol. VI (11): Pág. 70-76. Trujillo-Perú.
- DIGESA (2011). *Guía técnica de procedimiento de toma de muestra del agua de mar en playas de baño y recreación*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Gu%C3%ADa%20Tecnica%20Proced_Tom_Muestras_Playas.pdf

- DIGESA. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf, 2016-12-23.
- Fuentes, R. y Roth, P. (1997). *Teoría de la destilación solar en vacío*. Recuperado de <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/114/11400407.pdf>
- Graham, S.; Fryhle, C. y Snyder, T. (2016). *Organic Chemistry*. 2016, John Wiley & Sons; Printed in the United States of America.
- Hanane, A.; Brahim, F. and Djilali, Z. T. (2012). *An Experimental Study of a Solar Still: Application on the sea water desalination of Fouka*. *Procedia Engineering* 33. Pág.475 – 484. Tipaza, Algéria.
- Huezo, F. y Morán, J. (2012). *Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de Ingeniería Química*. Tesis para optar al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.
- Isiordia D, Germán E.; Gonzáles R, Ponce N. (2012). *Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46123333006.pdf>.
- Leff, E. (2006). *Aventuras de la Epistemología Ambiental: de la articulación de ciencias al diálogo de saberes*. Recuperado de <http://www.ceapedi.com.ar/imagenes/biblioteca/libreria/299.pdf>
- Mamani, E. y Chambilla, V. (2009). *Análisis fisicoquímico y biológico del agua para consumo humano en el distrito de Huanuara*. *Revista Ciencia y Desarrollo UNJBG* Vol. 11. Tacna- Perú.
- Miranda, G. (2004). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Dirección Regional Tacna – Moquegua*. Tacna-Perú.
- Rodríguez, H. (2009). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*, <http://www.scielo.org.co>. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>
- Rodríguez, N.; Rojas, P.; Romero, K. y Rueda, Z. (2009). *Estudio microbiológico de la calidad de agua suministrada a la población de Sebastian Pagador en el año 2008*. Recuperado de

http://www.scielo.org.bo:http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100005

- Ruiz Arcos, José Manuel. (s.f.). *Desalinización del agua de mar mediante el uso de energía solar*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7548721/universidad-veracruzana>
- Satin Morton. (2000). *La Irradiación de los Alimentos*, Edit. Acribia, S.A. Zaragoza-España.
- Srinivasan, J. (1993). *Solar pond technology*. Sadhan. Vol. 18, Part 1, pp. 39-55. © Printed in India.
- Torchia Núñez, J.C., Porta Gándara, M.A. y Cervantes de Cortari, J.G. (2010). *Análisis de energía en estado permanente de un destilador solar simple*. RIIT Vol. XI. Núm.1. Pág. 25-34, ISSN1405-7743 FI-UNAM.
- Torres, H.; Polo, C. y Milla, B. (2000). VIII Simposio peruano de energía solar “Evaluación de la cocina solar tipo caja” Puno-Perú.
- Yabroudi, Suher Carolina; Cardenas, Carmen; Aldan, Leonardo; Nuñez, Jose y Herrera, Lenin. (2011). *Desalinización de agua empleando un destilador tubular*. Revista Interciencia. Vol. 36 N° 10.
- Zizzias J, Fasulo A, Venier F, Marchesi J, Odicino L. (2010). *Evaluación detallada de un destilador solar colector acumulador*. *Avances en Energías Renovables y Medio ambiente* Vol 14. 63-69. ISSN 0329-5184.
- Valdivia, R.; Rodres, Pedro, S. y Laurel, M. *Agua para el uso en laboratorios*. <http://www.redalyc.org>. Recuperado de <http://www.redalyc.org: http://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>.

ANEXOS

ANEXO 1

FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



Figura 8. Tres destiladores solares de agua de mar.



Figura 9. Determinación de pH y conductividad eléctrica de las muestras de agua destilada de mar con un multiparámetro.



Figura 10. Análisis microbiológico.



Figura 11. Agua de mar para la destilación.



Figura 12. Tomando datos destilador D3.



Figura 13. Tomando datos destilador D2.



Figura 14. Tomando datos destilador D1.

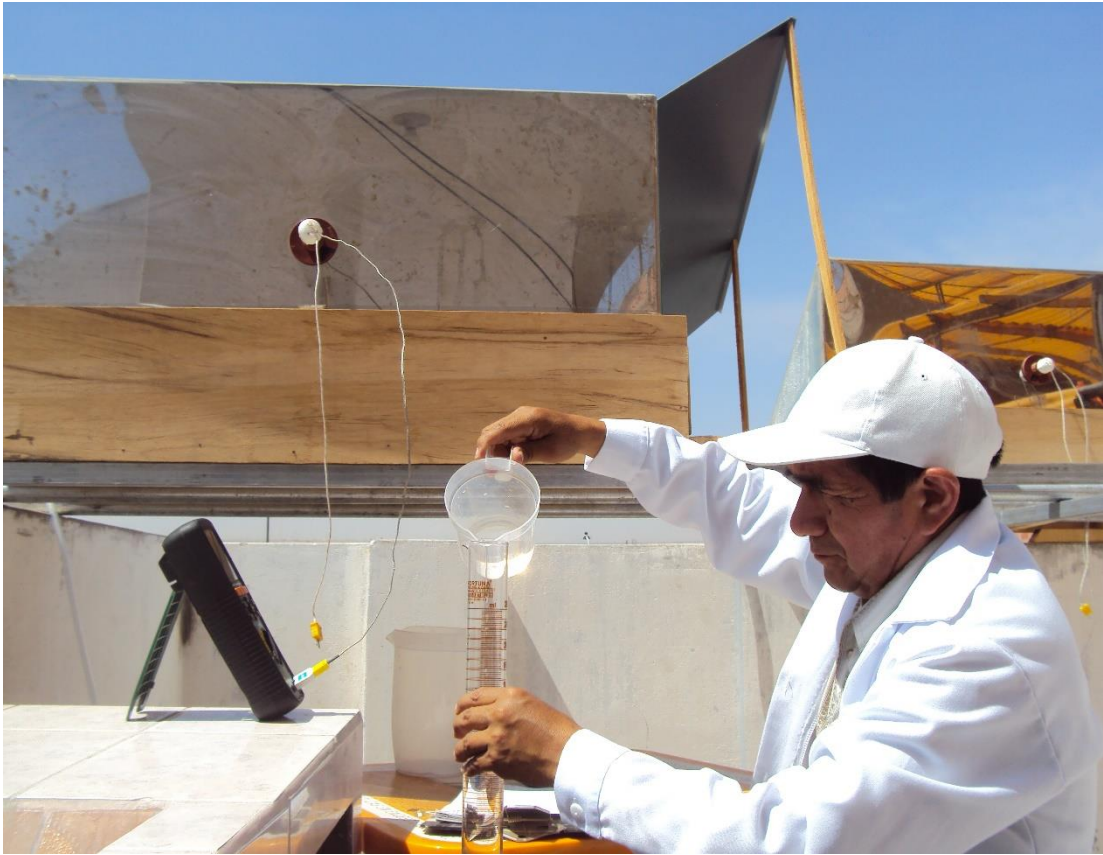


Figura 15. Tomando datos destilador D1.



Figura 16. Tres destiladores D1, D2 y D3.