



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“RENDIMIENTO DE UN DESTILADOR SOLAR MEJORADO  
PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA EN EL DISTRITO DE  
JESUS MARIA (LIMA-PERÚ)”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

Rosa Jazmín Dueñas Ruiz (0000-0002-6267-6650)

Asesor:

Franco Canziani Amico (0000-0003-0552-9109)

Co-asesor:

Jaime Chacana Olivares (0000-0002-0610-2345)

Lima - Perú

2021

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 04 de marzo 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Blgo. Dámaso Wilfredo Ramirez Huaroto
Miembro: Mg. Ing. Juan Pérez Medina
Miembro: Dra. Ing. Constanza Cruz Rojas

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

#### "RENDIMIENTO DE UN DESTILADOR SOLAR MEJORADO PARA LA DESALINIZACIÓN DE AGUA EN EL DISTRITO DE JESUS MARIA (LIMA-PERÚ)"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Rosa Jazmín Dueñas Ruiz**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Ing. Franco Canziani Amico Co-asesorado por: Dr. Ing. Jaime Chacana Olivares

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental a en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesis: Rosa Jazmín Dueñas Ruiz		Nota (en letras): (Diecisiete) 17	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena ( X )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

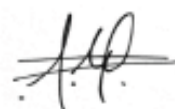
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Mg. Dámaso Wilfredo Ramirez Huaroto**  
Presidente



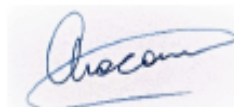
ING. JUAN PÉREZ MEDINA  
REG/ CIP N° 133325  
Mg. Juan Pérez Medina  
Miembro 1



**Dra. Constanza Cruz Rojas**  
Miembro 2



**Mg. Franco Canziani Amico**  
Asesor



**Dr. Jaime Chacana Olivares**  
Co-Asesor

## DEDICATORIA

A mis padres, Sonia e Israel, quienes son la cuna de mis amores y motivan mis pasiones. A ustedes por guiar mi camino en esta travesía con su apoyo incondicional. Que en moles de vidas sean mis padres y tenga la fortuna de pertenecer a su hogar. Los amare hasta la muerte térmica del universo. Papá y Mamá, lo logramos.

A todas las personas que carecen de agua potable, estamos cerca de obtener una solución para todos.

## AGRADECIMIENTOS

Al destino que en su manera anónima –Dios- me da luz en mi vida. A mi tierno Ohana; Cristhofer y Grogu quienes me han acompañado en mis amanecidas y han demostrado ese amor a esta nueva familia, gracias por la paciencia y amor. A mis padres, hermanas, hermanos y su tierna legión quienes han sido y son clave para mí aprender diario. A mis abuelos; Tata José, Petita, Mamá Nina y Papá Honorato, por tanto amor y responsabilidad hacia mis padres.

A mis asesores; Mg. Franco Canziani y Ph.D Jaime Chacana, gracias por su compromiso hacia el presente trabajo y guiarme hacia lo impecable. Mil gracias por apoyarme tanto frente a esta pandemia, sin duda no pude haber elegido mejores personas y profesionales.

A mis maestros; Gonzalo Flores, Miguel Fernandez, Abilio Solorzáno, Victor Barrantes, Mirtha Nazario, Armando Velez y Vanessa Caldas, por ser los pilares de mi formación académica y colaborar conmigo en esta investigación. A mi casa de estudios por la formación de calidad y oportunidades que me han permitido conseguir a lo largo de estos valiosos años.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
II. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. Factores que afectan la intensificación de la escasez hídrica.....	16
2.2. Tecnologías para desalinización de agua de mar.....	18
2.2.1. Osmosis inversa .....	19
2.2.2. Destilación multietapas .....	19
2.2.3. Electrodialisis .....	20
2.2.4. Destilación multiefecto .....	20
2.2.5. Comprensión de vapor.....	21
2.2.6. Destilador solar .....	21
2.3. Antecedentes de desalinizadores solares.....	26
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.1 Hipótesis de la investigación.....	32
3.2 Objetivo general.....	32
3.2.1. Objetivos específicos .....	32
IV. METODOLOGÍA.....	33
4.1. Área de estudio.....	33
4.2. Diseño de un destilador solar mejorado.....	33
4.2.1. Parámetros de diseño del destilador solar mejorado .....	33

4.2.2.	Recolección de muestras de agua de mar.....	40
4.2.3.	Mantenimiento del Destilador Solar Mejorado .....	41
4.2.4.	Evaluación de la producción del Destilador Solar Mejorado .....	41
4.2.5.	Medición de las condiciones ambientales.....	42
4.2.6.	Parámetros físicos-químicos.....	44
4.2.7.	Análisis estadístico .....	45
V.	RESULTADOS .....	46
5.1.	Producción de agua desalada relacionada a la radiación.....	46
5.1.1.	Eficiencia del Destilador Solar Mejorado por día .....	51
5.1.2.	Producción de agua desalada relacionada a la temperatura .....	53
5.1.3.	Producción de agua desalada relacionada a la velocidad del viento.....	56
5.2.	Los parámetros físico-químicos .....	58
5.2.1.	Conductividad eléctrica.....	62
5.2.2.	Temperatura .....	63
5.2.3.	Turbidez.....	64
5.2.4.	pH .....	65
5.2.5.	Sólidos totales disueltos .....	66
5.3.	Evaluación del costo del Destilador Solar Mejorado .....	67
VI.	DISCUSIÓN .....	69
VII.	CONCLUSIONES.....	74
7.1	Parámetros de diseño óptimos de un destilador solar mejorado. ....	74

7.2	Producción de agua desalada.....	75
7.3	Parámetros físicos-químicos del agua desalada.....	75
VIII.	RECOMENDACIONES .....	76
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
X.	ABREVIATURAS.....	91
XI.	ANEXOS .....	92

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Estructura de dos piezas de MDF de 12 mm. .... 34

Figura 2. Estructura de la base de MDF de 12 mm..... 34

Figura 3. Estructura de la base de cuatro piezas de MDF de 12 mm..... 34

Figura 4. Estructura final de tablero MDF..... 35

Figura 5. Plancha de acero inoxidable recubriendo la estructura de MDF. .... 36

Figura 6. Canaleta de PVC instalada en el Destilador solar Mejorado..... 36

Figura 7. Base de pintura epóxica negra del Destilador Solar Mejorado..... 37

Figura 8. Empaque de jebe en el perímetro del Destilador Solar Mejorado. .... 38

Figura 9. Destilador Solar Mejorado recubierto de cartulina gruesa..... 38

Figura 10. Destilador Solar Mejorado con el vaso colector. .... 39

Figura 11. Diseño terminado del Destilador Solar Mejorado ..... 39

Figura 12. Producción de agua desalada (mL) por día. .... 46

Figura 13. Producción de agua desalada (mL) en relación con la radiación (kWh/m<sup>2</sup>) ..... 47

Figura 14. Tendencia de la radiación (kWh/m<sup>2</sup>) versus la producción de agua desalada (mL) ..... 47

Figura 15. Gráfico de la distribución normal de la producción de agua desalada. .... 48

Figura 16. Gráfico de la correlación de Spearman de la producción de agua desalada e irradiación ..... 49

Figura 17. Gráfico de la extrapolación de datos de la producción de agua desalada (mL) versus la irradiación solar (kWh/m<sup>2</sup>) en Lima ..... 50

Figura 18. Eficiencia (%) según la radiación (kWh/m<sup>2</sup>) por día del DSM..... 53

Figura 19. Producción de agua desalada (mL) versus temperatura (°C) ..... 54



Figura 20. Gráfico de la correlación de Spearman de la producción de agua desalada y temperatura..... 55

Figura 21. Producción de agua desalada (mL) versus la velocidad del viento (m/s) ..... 56

Figura 22. Gráfico de la correlación de Spearman de la producción de agua desalada y velocidad del viento..... 57

Figura 23. Conductividad eléctrica del agua desalada ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y conductividad eléctrica del agua de mar ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )..... 62

Figura 24. Temperatura del agua desalada ( $^{\circ}\text{C}$ ) y temperatura del agua de mar ( $^{\circ}\text{C}$ )..... 63

Figura 25. Turbidez del agua desalada (UNT) y turbidez del agua de mar (UNT) ..... 64

Figura 26. El pH de agua desalada y agua de mar ..... 65

Figura 27. Sólidos disueltos totales de agua desalada (mg/L) y sólidos disueltos totales de agua de mar (mg/L) ..... 66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Revisión de otros autores considerando la producción de agua desalada, radiación, eficiencia y costo. ....	31
Tabla 2. Estación: Campo de Marte, Tipo Automática - Meteorológica 2.....	42
Tabla 3. Prueba de Shapiro-Wilk aplicada a la producción de agua desalada e irradiación.....	48
Tabla 4. Prueba de Correlación de Spearman a la producción de agua desalada e irradiación.....	49
Tabla 5. Eficiencia por día del DSM a razón de la energía de entrada y salida. ....	51
Tabla 6. Prueba de Correlación de Spearman a la producción de agua desalada y temperatura. ....	55
Tabla 7. Prueba de Correlación de Spearman a la producción de agua desalada y velocidad del viento. ....	57
Tabla 8. Prueba de Shapiro-Wilk aplicada a los parámetros físico-químicos del agua desalada.....	58
Tabla 9. Prueba de t-Student para muestras relacionadas aplicada al pH.....	59
Tabla 10. Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas aplicada a la CE. ....	59
Tabla 11. Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas aplicada a TDS... ..	60
Tabla 12. Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas aplicada a la Temperatura.....	60
Tabla 13. Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas aplicada a la UNT. ....	61
Tabla 14. Costo del prototipo del Destilador Solar Mejorado .....	67

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Localización de los puntos de muestreo .....	92
Anexo 2. Ficha de registros de datos. ....	93
Anexo 3. Destilador Solar Mejorado realizando la condensación.....	93
Anexo 4. Medición de los parámetros físico-químicos .....	94
Anexo 5. Medición de la irradiación del Destilador Solar Mejorado.....	94

## RESUMEN

Dada la problemática de la escasez de agua potable, este trabajo tiene el propósito de evaluar el rendimiento de un Destilador Solar Mejorado (DSM). Se recolectó agua de mar semanalmente durante el mes de septiembre y octubre del 2021, estas muestras se fragmentaron en muestra Problema y Control a las cuales se le realizaron análisis físicos-químicos, tales como; conductividad eléctrica, pH, temperatura, sólidos disueltos totales y turbidez. Asimismo, se calculó la eficiencia del DSM, el volumen acumulado de agua desalada y se realizó una analogía sobre la producción a razón de la irradiación, temperatura y velocidad del viento. Los resultados demostraron que el DSM alcanza una máxima producción de 825 mL de agua desalada, equivalente a 2291,7 mL/m<sup>2</sup> al día con una eficiencia del 29,4%. Además, los parámetros físicos-químicos se encontraron dentro de los rangos establecidos por el ECA de calidad ambiental para agua categoría 1, subcategoría A, dado que las características físico-químicas disminuyeron en; 99,65% en sólidos disueltos totales, 99,74% en conductividad eléctrica, 96,11% en turbidez y el pH de 7,8 a 6,6 pH. Además, se evidencia que, la irradiación es la variable más influyente para la producción de agua desalada y en menor grado la temperatura y el viento. Finalmente, se concluye que el DSM es de simple mantenimiento, bajo costo y una alternativa de solución para la escasez de agua potable en zonas que cuenten con alta radiación y acceso a agua de mar.

Palabras clave: destilador solar, escasez de agua, rendimiento, radiación, producción.

## ABSTRACT

Given the problem of drinking water shortage, this work has the purpose of evaluating the performance of an Enhanced Solar Distiller (DSM). Sea water was collected weekly during the month of September and October 2021, these samples were fragmented into a Problem and Control sample to which physical and chemical analyzes were carried out, such as; electrical conductivity, pH, temperature, total dissolved solids and turbidity. Likewise, the efficiency of the DSM and the accumulated volume of desalinated water was calculated and an correlation was made on the production at the rate of irradiation, temperature and wind speed. The results showed that the DSM reaches a maximum production of 825 mL of desalinated water, equivalent to 2291.7 mL/m<sup>2</sup> per day with an efficiency of 29.4%. In addition, the physical-chemical parameters were found within the ranges established by the ECA of environmental quality for water category 1, subcategory A, since the physical-chemical characteristics decreased in; 99,65% in total dissolved solids, 99,74% in electrical conductivity, 96,11% in turbidity and pH from 7,8 to 6,6 pH. In addition, it is evident that irradiation is the most influential variable for the production of desalinated water and to a lesser extend temperature and the wind. Finally, it is concluded that the DSM is simple to maintain, low cost and an alternative solution for the shortage of drinking water in areas with high radiation and access to sea water.

Keywords: solar still, water shortage, yield, radiation, production.