



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA
APTA PARA CONSUMO HUMANO UTILIZANDO UN DESALINIZADOR SOLAR EN
SIPACATE, ESCUINTLA**

Abdel Vásquez Dardón

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Gabriel García Ramos

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA
APTA PARA CONSUMO HUMANO UTILIZANDO UN DESALINIZADOR SOLAR EN
SIPACATE, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ABDEL VÁSQUEZ DARDÓN

ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS GABRIEL GARCÍA RAMOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Carrera
SECRETARIO	Inga. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA APTA PARA CONSUMO HUMANO UTILIZANDO UN DESALINIZADOR SOLAR EN SIPACATE, ESCUINTLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Estudios de Postgrado, con fecha 5 de febrero de 2017.

Abdel Vásquez Dardón

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el cimiento de mi vida, por darme la fuerza, perseverancia y paciencia para llegar hasta este punto y ser mi guía, luz de mi camino.
- Mi papá** Abdel Vásquez Domínguez, por ser mi ejemplo de vida y por brindarme todos los recursos materiales, darme todo el amor del mundo y su dedicación.
- Mi mamá** Rosa Elieth Dardón de Vásquez, por todas esas noches de desvelo en las que me acompaño, por sus palabras de aliento y su apoyo incondicional, por los valores que me inculcó y, sobre todo, por el amor incondicional que me brinda día con día.
- Mi hermano** Alan Vásquez Dardón, por acompañarme durante la carrera, por ser mi fiel amigo y estar incondicionalmente en las buenas y malas, y siempre apoyándome para seguir adelante.

Mi hermana

Eliet Vásquez Dardón, por su apoyo y amor incondicional que me brinda siempre.

Mis abuelos

Rogelio Vásquez Martínez, Oralia Domínguez de Vásquez y Etelvina viuda de Dardón, por ser un ejemplo en mi vida por sus sabios consejos y por brindarme su apoyo incondicional.

Mi familia

A mis tíos, tías y primos, porque, de una u otra forma, fueron un factor influyente en muchos aspectos de mi vida y siempre me apoyaron durante mi carrera.

Mi cuñada

Stefanie Montenegro, porque es una persona incondicional, que durante la última fase de graduación me apoyó y pasamos por este proceso juntos.

Mis amigos

Erick Estuardo Salazar, Erick Juan Pablo Salazar, Débora Calderón, Leonel Aguirre Ramos, Raúl Carrera, por todos los momentos que vivimos dentro de la universidad

AGRADECIMIENTOS A:

- | | |
|---|---|
| Mi querida Guatemala | Por darme la oportunidad de entrar a formarme como profesional a esta gloriosa Universidad. |
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser mi <i>alma mater</i> que me formó como profesional dándome los conocimientos universales para el ejercicio profesional. |
| Facultad de Ingeniería | Por los principios, valores y conocimientos que me dio durante mi formación profesional y por los buenos catedráticos que puso a mi disposición para lograr culminar esta meta. |
| MSc. Ing. Gabriel García | Por su apoyo y orientación en el desarrollo de este trabajo, y brindarme su tiempo para lograr culminarlo. |

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	7
5. ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	9
6. MARCO TEÓRICO.....	11
6.1. Desalinización de agua de mar	11
6.2. Procesos de desalación de agua de mar.....	12
6.2.1. Destilación por efecto <i>flash</i>	13
6.2.2. MED: Destilación por efecto múltiple	14
6.2.3. Congelación.....	16
6.2.4. Osmosis inversa	17
6.2.4.1. Principio de la osmosis inversa.....	17
6.2.4.2. Componentes de la osmosis inversa ...	18
6.2.5. Destilación solar	18
6.2.5.1. Destilador solar de una vertiente	19
6.2.5.2. Destilador solar de dos vertientes.....	20
6.2.5.3. Destilador solar de invernadero	20
6.2.5.4. Destilador solar de cascada.....	20
6.3. Balance de energía del destilador	21

6.4.	Calidad del agua	23
6.4.1.	Características físicas	23
6.4.2.	Características químicas	23
6.4.2.1.	Dureza del agua	24
6.4.3.	Características microbiológicas	24
6.4.3.1.	Pruebas bacteriológicas de contaminación	24
6.4.4.	Cloración	27
6.4.5.	Característica de la de la concentración del agua de mar.	29
6.4.5.1.	Hipertónica	29
6.4.5.2.	Hipotónica	29
6.4.5.3.	Isotónica	29
6.4.6.	Parámetros de la Norma COGUANOR NTG 29001 para consumo humano	30
6.4.6.1.	Características físicas y organolépticas	30
6.4.6.2.	Características químicas	31
6.4.6.3.	Características microbiológicas	34
6.4.6.4.	Aspectos radiológicos	35
7.	HIPÓTESIS	37
8.	ÍNDICE PROPUESTO	39
9.	METODOLOGÍA	41
9.1.	Tipo de estudio	41
9.2.	Fases del estudio	41
9.2.1.	Fase 1: Exploración bibliográfica	42
9.2.2.	Fase 2: Selección del diseño del desalinizador	42
9.2.3.	Fase 3: Construcción del prototipo	43
9.2.4.	Fase 4: Análisis del prototipo	45

9.3.	Análisis de resultados.....	47
9.3.1.	Definición operacional de variables	49
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	51
10.1.	Herramientas para la obtención de la información	51
10.2.	Herramientas estadísticas a utilizar	51
11.	CRONOGRAMA.....	53
12.	RECURSOS Y FACTIBILIDAD	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta de evaporación rápida con múltiples etapas.	14
2.	Planta de evaporación con múltiples efectos.	16
3.	Esquema del desalinizador solar de una vertiente	45
4.	Cronograma de ejecución de la investigación	53

TABLAS

I.	Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.....	31
II.	Características químicas que debe tener el agua para consumo humano	31
III.	Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	32
IV.	Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	33
V.	Substancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	34
VI.	Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua.....	35
VII.	Valores guía para los aspectos radiológicos en agua	36
VIII.	Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua	36
IX.	Calculo de caudal destilado.....	47
X.	Tabla de parámetros promedios diarios	48

XI.	Comparación de las características químicas del agua.	48
XII.	Recursos necesarios para la investigación	55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H ₂ O	Agua
cwg	Capacidad calorífica del sistema
Q	Caudal
NaCl	Cloruro de sodio (sal)
α_g	Coeficiente de absorción
MSF	Destilación por efecto <i>flash</i>
MED	Destilación por efecto múltiple
q_b	Energía perdida de la base del aislador al medio
q_{ga}	Energía transmitida de la cubierta al aire
°C	Grados centígrados
<i>watts/m²</i>	Intensidad solar
q_c	Intercambio de energía por convección del estanque a la cubierta
q_e	Intercambio de energía por evaporación condensación del estanque a la cubierta
q_r	Intercambio de energía por radiación del estanque a la cubierta
LMA	Límite Máximo Aceptable
LMP	Límite Máximo Permisible
MJ/m ³	Mega joule sobre metro cúbico
OMS	Organización Mundial de la Salud
HS	Radiación
TDS	Solidos disueltos totales
T	Transmitancia

m²

Unidad de medida de área en el Sistema
Internacional

M³

Unidad de medida de volumen en el Sistema
Internacional

GLOSARIO

Absorbancia	Se define como la relación (logarítmica) entre la intensidad de la luz que incide sobre una muestra y la intensidad de esa misma luz que es transmitida a través de esa muestra.
Balance de masa	Aplicación de la ley de conservación de la masa: "La materia no se crea ni se destruye, solo se transforma".
Balance energético	El balance de energía al igual que el balance de materia es una derivación matemática de la "Ley de la conservación de la energía" (Primera Ley de La Termodinámica), es decir "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma". El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.
Concentración	En química, la concentración de una solución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución o de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente es la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores.

Condensador	Es un intercambiador térmico, en donde el fluido que lo recorre cambia a fase líquida desde su fase gaseosa mediante el intercambio de calor con otro medio.
Destilación	Es una operación unitaria que consiste en separar dos o más componentes de una mezcla líquida, aprovechando las diferencias en sus presiones de vapor.
Efecto invernadero	Proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones. Ya que parte de esta radiación es devuelta hacia la superficie y la atmósfera inferior, resulta en un incremento de la temperatura superficial media respecto a lo que habría en ausencia de los GEI.
Energía solar	Es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol.
Evaporación súbita	Incremento en la tasa de evaporación de un fluido a un ritmo acelerado.
Presión	Se define como fuerza ejercida sobre una superficie por unidad de área. En ingeniería, el término presión se restringe, generalmente, a la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área de la superficie que lo encierra.
Presión atmosférica	Es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

Presión de vacío	Se refiere a presiones manométricas menores que la atmosférica, que, normalmente se miden, mediante los mismos tipos de elementos con que se miden las presiones superiores a la atmosférica, es decir, por diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente.
Presión de vapor	Es la presión que ejercen las moléculas del líquido que han escapado a la fase vapor en un recipiente cerrado donde se ha alcanzado el equilibrio. Muy a menudo el término se utiliza para describir la tendencia de un líquido a vaporizarse.
Presión vacuométrica	Es aquella presión que es menor a la presión atmosférica, es decir, la deficiencia de presión con respecto a la atmósfera.
Radiación solar	Es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta).
Salmuera	Es agua con una concentración de sal superior al 5% (NaCl) disuelta.
Salobre	Que contiene mucha sal o tiene sabor de sal.
Saneamiento	Es el suministro de instalaciones y servicios que permiten eliminar sin riesgo la orina y las heces, también se refiere al mantenimiento de buenas condiciones de higiene gracias a servicios como la recogida de basura y la evacuación de aguas residuales.

Transferencia de calor

Proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción.

Transmitancia

Es la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en determinada cantidad de tiempo. Existen varios tipos de transmitancia, dependiendo de qué tipo de energía consideremos.

RESUMEN

El presente diseño de investigación representa un estudio de la producción de agua apta para consumo humano utilizando un desalinizador solar en el área de Sipacate, municipio del departamento de Escuintla. La finalidad de este estudio es proponer un prototipo para la obtención de agua destilada, para convertir la solución salina del agua de mar, en agua apta para consumo humano, que cumpla con los parámetros que rige la norma COGUANOR 29001. De esta manera, se utilizan los recursos disponibles y se disminuyen los costos en el uso de energía porque se aprovechará la energía solar.

Para el proceso de desalación del agua de mar se propone el uso de la radiación solar, como medio energético para lograr la separación del cloruro de sodio (sal) y otras partículas presentes del agua. Esto se llevará a cabo por un proceso de destilación natural, es decir, un proceso de evaporación del agua que, luego de la condensación precipitará y se captará en un recipiente. El resultado será un líquido apto para consumo humano, es decir sin cloruro de sodio ni otros contaminantes que se encuentren presentes en la misma.

El prototipo se basará en un desalinizador solar de una vertiente, el cual constará de dos cámaras, una donde se dispondrá la solución salina y otra donde se captará el agua destilada, para luego recolectarla en un recipiente que se pueda transportar. La vertiente o techo tendrá un ángulo de inclinación de 45° con el cual se espera obtener un promedio de 6 litros de agua al día. Posteriormente, se realizarán las pruebas respectivas para determinar la calidad del agua.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la disponibilidad del agua potable es un problema mundial. Esta problemática deriva de la alta contaminación de los recursos hídricos por acción del ser humano, al consumo irracional de este recurso, al crecimiento poblacional, a la mejora de la calidad de vida, a los cambios climatológicos y a la contaminación descontrolada del medio ambiente.

Para obtener agua potable a partir de los recursos disponibles y minimizar costos en el consumo de energía, se propuso la obtención de agua potable por medio de la destilación solar para desalinizar el agua. Para ello se utilizará la radiación solar como fuente de energía renovable y el agua de mar. El propósito es contribuir a la disminución del consumo de energía no renovable y el aprovechamiento de los recursos disponibles a un bajo costo. Con ello, se propondrá una solución para que las regiones de la costa del país, tengan acceso al agua potable.

El estudio proporcionará una evaluación de la desalinización del agua de mar para la obtención de agua potable, además propondrá un manejo para el aprovechamiento del residuo salino derivado del proceso de la destilación. El prototipo pretende desalinizar un volumen de agua entre seis y ocho litros al día. De esta manera se evaluará la factibilidad para la realización de un proyecto que se base en la metodología propuesta.

Para llevar a cabo el estudio se construirá un prototipo que capte energía solar en un área de 1 metro cuadrado, se medirá la radiación solar con un radiómetro, la medición de temperatura por hora y la cantidad de agua

destilada. Posteriormente, se realizará un análisis de las características del agua antes de pasar por el proceso de desalinización y un análisis posterior para realizar la comparación de la calidad del agua obtenida.

En el capítulo 1 se presentan las bases teóricas sobre los procesos de desalación de agua de mar y sus características principales. En el capítulo 2 se propondrá el diseño del prototipo que se construirá y se realizarán las mediciones y pruebas respectivas para llevar a cabo la investigación.

En el capítulo 3 se presentarán los datos obtenidos en las pruebas realizadas y se analizarán. Por último, en el capítulo 4, se discutirán los resultados obtenidos, se darán las recomendaciones y se analizará el método utilizado para la realización del estudio.

1. ANTECEDENTES

Para comprender el funcionamiento de los desalinizadores solares, Cárdenas (2012), expone en su proyecto de grado *Implementación de prototipo de planta desalinizadora solar por humidificación multi-efecto*, que los destiladores solares operan bajo un principio conocido como humidificación-deshumidificación. En estos, una superficie negra horizontal sobre la cual se vierte el agua salada, se calienta por el efecto de la radiación solar, evaporando parte del agua salada y calentando el aire circundante (transferencia de calor y masa combinados). El aire caliente y húmedo, menos denso, asciende hasta entrar en contacto con una superficie inclinada transparente que se encuentra a temperatura ambiente. Esto hace que se condense el vapor presente en el aire y se produzca el destilado.

Urresta (2013), expone en su tesis *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* que la desalinización del agua salina subterránea, agua salobre y agua de mar es una de las opciones que tiene el ser humano para aumentar sus recursos hídricos. La destilación de agua salada para obtener agua dulce ha sido conocida y estudiada durante muchos siglos por civilizaciones del Mediterráneo y Cercano Oriente. No obstante, el progreso en el desarrollo moderno de la desalinización empezó en los años 60; y en la década de los 70 se construyeron las primeras plantas en países del Golfo Pérsico.

En la tesis magistral *Desarrollo y análisis energético de destiladores solares de agua con convección natural y convección forzada*, Castillo (2009),

indica que la purificación de fluidos, específicamente la desalinización de agua, utilizando como fuente energética la radiación solar, es una técnica ya desarrollada con grandes ventajas económicas, sobre todo por el ahorro de electricidad o petróleo, así como la calidad del agua obtenida. Las experiencias acumuladas demuestran, fehacientemente, que la destilación solar del agua de mar o salobre es una opción tecnológica y económicamente factible.

Según la Tesis *Desalación de agua de mar apoyada con energía eólica en Guerrero Negro, BCS*, Sánchez (2010), menciona que los procesos de destilación requieren de una fuente de calor externa en forma de vapor. Por lo general, dicho vapor proviene como subproducto de algún tipo de industria, pero también puede ser producido para tal motivo. Este calor es transmitido y aprovechado de diferentes maneras, según el proceso, como MSF (Multistage Flash Distillation), Destilación súbita multietapa, MED (Multi Effect Distillation), Destilación multiefecto y VC (Vapour Compression), Compresión de vapor.

Correa (2007), explica en su tesis doctoral *Evaluación de la sustentabilidad en la instalación de plantas desaladoras, de agua de mar, en la región noroeste de México*, que el proceso de desalación por técnicas de destilación depende de la inyección de vapor al sistema para intercambio de calor y se basa en el calentamiento gradual del agua de mar en varias etapas o cámaras, evaporación a presión reducida, condensación del agua destilada libre de sales y descarga de salmuera caliente, de 7 a 15 °C más, respecto al agua de mar. El rendimiento de producción es de un 15% y la salmuera tiene un factor de concentración menor a 1.15. La mayor parte de la energía que se emplea en este proceso se consume en la inyección de vapor para calentar el agua de mar, el consumo de energía en este proceso es de 145 a 445 MJ/m³ de agua destilada.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de calderas de vapor en los laboratorios de operaciones unitarias exige la implementación de diferentes mecanismos para optimizar la energía suministrada para minimizar los impactos negativos causados al ambiente, reducir costos en combustibles y conseguir un mejor rendimiento en los procesos.

Un problema evidente en las zonas cercanas a los mares es la falta de agua potable, sin embargo, no se ha estudiado profundamente. Este inconveniente surge por problemas ocasionados por el manejo inadecuado de los recursos renovables pero limitados. Esto ha ocasionado cambios drásticos en las condiciones meteorológicas, geológicas, de suelos y vegetaciones. Además, no se cuenta con un estudio realizado para el aprovechamiento del agua de mar para obtener agua potable realizando el proceso de destilación por medio de la radiación solar en el país.

Es importante recordar la importancia del agua potable y que, en las comunidades cercanas del mar, no se cuenta con agua potable fiable dada la problemática mencionada y al estar en zona con abundante agua salina, los seres humanos están más propensos a presentar problemas de salud, entre los más recurrentes es la deshidratación.

El costo comercializado del agua potable fiable, en estas regiones, es muy elevado. Por eso, las comunidades no cuentan con este beneficio de uso vital para sobrevivir y optan por otros métodos para conseguirlo.

Los métodos utilizados por estas personas también tienen un costo muy elevado, no son fiables ni tienen control de sanidad, como consecuencia, no asegura un buen manejo de aguas y de consumo propio, ya que están expuestos a una solución salina y otros contaminantes.

Con la información detallada se pueden formular las siguientes interrogantes:

- ¿Qué cantidad de agua potable produce el desalinizador solar?
- ¿Cuál es el diseño adecuado de un desalinizador solar para la producción de agua apta para consumo humano en el lugar de estudio?
- ¿Cuántos litros de agua serían los que produce el desalinizador solar en un área de un metro cuadrado de captación de energía solar?
- ¿Cuáles serían los beneficios que traerá a la población, la producción de agua apta para consumo por medio del desalinizador solar?
- ¿Con qué parámetros de la norma COGUANOR NTG 29001 deberá cumplir el agua obtenida del desalinizador solar, para catalogarse apta para consumo humano?

3. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en el área de gestión ambiental en la línea de investigación de gestión y tratamiento del agua de la Maestría en Energía y Ambiente.

Este estudio aportará una metodología para el aprovechamiento de la energía solar para promover la sanidad en los lugares donde el agua apta para consumo es escasa, pero se dispone de una gran cantidad de agua de mar. De esta manera se logrará el aprovechamiento de los recursos disponibles con un alto grado de eficiencia energética.

El estudio proveerá de agua apta para el consumo humano mediante el uso de la energía solar para separar la sal del agua del mar. Así, se abastecerá de agua a la población para satisfacer las necesidades básicas y lograr una calidad de vida más digna.

Las poblaciones de escasos recursos que viven cerca de las áreas costeras y carecen de agua apta para consumo humano, contarán con un método de bajo costo para aprovechar el agua de mar y suplir sus necesidades básicas. También se contribuirá al saneamiento, ya que muchas de las enfermedades que padecen estas poblaciones tienen su origen en el consumo de agua altamente contaminada. Como consecuencia, también mejorarán su calidad de vida y reducirán los gastos ocasionados por enfermedades gastrointestinales y otras afines.

Este proyecto servirá como motivación para lograr un desarrollo sostenible aportando los conocimientos y utilizando los recursos naturales de manera eficiente. También promoverá el desarrollo verde ayudando en el ámbito social, ambiental y energético a la sociedad.

4. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la cantidad de agua potable en litros que produce el desalinizador solar.

Objetivos específicos

1. Elaborar un diseño para un desalinizador solar que sea factible y práctico para el lugar de estudio.
2. Determinar qué cantidad de litros de agua produce el desalinizador solar por metro cuadrado de área de captación de energía solar.
3. Identificar los beneficios que traerá la implementación del desalinizador solar para la población en el lugar de estudio.
4. Determinar las especificaciones que debe cumplir el agua según la norma COGUANOR NTG 29001 para catalogarse apta para consumo humano.

5. ESQUEMA DE SOLUCIÓN

El agua es indispensable en la vida del ser humano. También juega un papel muy importante para sanear áreas donde se proliferen enfermedades gastrointestinales, como el cólera, la malaria, entre otras. Sin embargo, el agua también es un medio de transmisión de estas mismas enfermedades por lo cual es necesario contar con agua de calidad para mitigar y evitar que la población padezca de estas enfermedades. Debido a la contaminación del agua, su escasez y el elevado costo de su adquisición es inevitable buscar métodos para aprovechar el agua de los océanos, del mayor reservorio del planeta.

Con el estudio se aportará un método para la obtención de agua apta para el consumo humano en las regiones costeras del país, aprovechando la disponibilidad de agua de mar y la energía solar. Con este uso eficaz de los recursos disponibles, se contribuirá al desarrollo humano, especialmente, en las poblaciones de escasos recursos.

El estudio también aprovecha la energía renovable y su eficiencia energética. Con ello, se logra un menor impacto ambiental y la disminución en los gastos económicos para la adquisición de agua apta para el consumo humano en la población.

Para este estudio se realizará un prototipo, utilizando diferentes volúmenes de agua, donde se realizarán las pruebas para definir el diseño óptimo del desalinizador solar.

También se realizará la cuantificación de los costos de fabricación. Se propondrá el uso de materiales reciclados para que el costo del proyecto se encuentre al alcance de la población con mayor índice de pobreza y, al mismo tiempo, contribuir con el medio ambiente reutilizando materiales para brindarle un ciclo más de vida a estos desechos.

6. MARCO TEÓRICO

La gran cantidad de agua dulce de las capas polares, glaciares y acuíferos profundos no es utilizable. El agua dulce que se puede utilizar procede, esencialmente, de la escorrentía superficial del agua de lluvia, generada en el ciclo hidrológico. Se estima que en el mundo existen unos 1 400 millones de km³ de agua, de los cuales 35 millones (2,5 por ciento) son de agua dulce. (FAO, s.f)

Es posible que los volúmenes de agua dulce disponible para el ser humano parezcan suficientes para su utilización y consumo, pero derivado de las dificultades para la explotación y accesibilidad a la misma es necesario optar por procesos alternos para conseguir el líquido vital. Una de las alternativas mayormente consideradas es la potabilización de agua salada.

6.1. Desalinización de agua de mar

Si se analizan los volúmenes de agua salada y agua dulce y la disponibilidad de la misma en el planeta, se llega a la conclusión de que es más fácil acceder al agua de mar debido a que ella ocupa el mayor volumen del agua disponible en la Tierra. Además, paulatinamente, el agua apta para el consumo humano, escasea. Ante ello, es evidente la gran necesidad de buscar alternativas para aprovechar el agua de mar en la obtención de agua con parámetros mínimos aceptables para que sea apta para el consumo humano. (Castillo, 2008)

Por ello, es obvio que en las regiones donde la escasez de agua es mayor y la densidad poblacional se incremental, la desalinización del agua ha cobrado mayor auge. Para desalinizar el agua de mar o salobre, existen varias alternativas y en función de ellas son los costos de producción y el impacto que tendrán en el ambiente (Castillo, 2008).

La obtención de agua apta para consumo humano, especialmente la desalinización del agua, utilizando como fuente de energía la radiación solar, es una técnica muy eficiente con grandes ventajas. Entre ellas, están el factor económico, ahorro de fuentes de energía eléctrica y combustible fósil y la calidad del producto final obtenido. Por ello, se considera que la destilación solar de agua de mar o salobre es una manera tecnológica y económica para aprovechar los recursos disponibles. (Castillo, 2008).

6.2. Procesos de desalación de agua de mar

La desalinización del agua de mar se puede llevar a cabo por medio de diversas alternativas, pero no precisamente se utilizan para cubrir la misma demanda. Sin embargo, el objetivo es el mismo, obtener como producto final agua dulce a partir de agua de mar. Entre estas alternativas están:

- MSF: Destilación por Efecto *Flash*
- MED: Destilación por Efecto Múltiple
- Destilación solar
- Congelación
- Osmosis inversa

6.2.1. Destilación por efecto flash

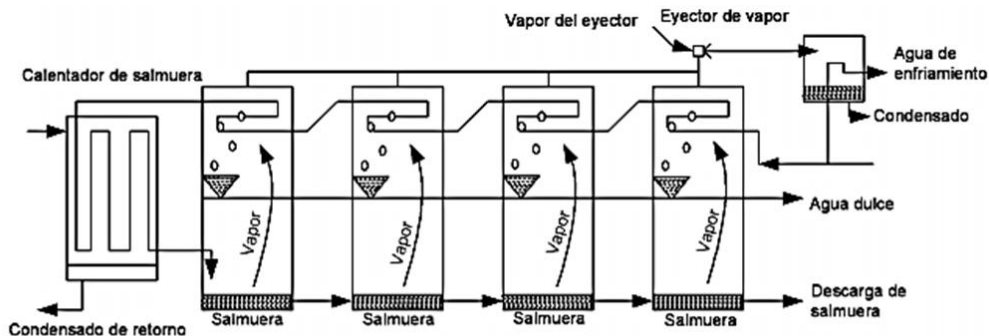
La desalación mediante el proceso de destilación consiste en evaporar agua salada o agua de mar para la obtención de vapor libre de sales (estas son volátiles a partir de 300°C). El vapor se condensa, posteriormente ya sea en interior o en el exterior de los tubos de la instalación.

Los sistemas desaladores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica. Por tal motivo, es necesario tener un sistema de vacío (bombas o eyectores), además de otros sistemas que extraigan el aire y los gases no deseados.

Al utilizar una cámara *flash*, permite una evaporación súbita (que irreversible) previa a su condensación posterior. Comúnmente, al realizar la instalación de la cámara *flash*, estas se colocan en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. (MSF).

Debido a esta instalación, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión y es necesario el aporte mínimo de la condensación de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica. La figura 1, ilustra el esquema típico de una planta de evaporación súbita por efecto *flash* (MSF).

Figura 1. **Planta de evaporación rápida con múltiples etapas**



Fuente: Miller (2003)

6.2.2. MED: Destilación por efecto Múltiple

En el proceso MED (siglas del nombre en inglés) se tiene una serie de efectos de evaporación con presiones consecutivas decrecientes que producen agua destilada. (Salmerón 2012).

Las presiones vacuométricas escalonadas se deben a que el agua se evapora a temperaturas más bajas conforme la presión disminuye. El primer efecto sirve como medio de calentamiento para el segundo efecto, y así, sucesivamente. Tantos más efectos, mayor será el rendimiento (Salmerón 2012).

En la figura 2 se muestra un proceso MED con tres efectos. La presión del efecto 1 es superior a la del efecto 2, y del mismo modo, la presión del efecto 2 es más alta que la del efecto 3 (las presiones son de vacío). La fuente de calor en el efecto 1 es suficiente para evaporar una parte del agua de alimentación que está entrando por la parte superior de la unidad. El vapor formado en este efecto calienta el siguiente efecto que está a menor presión.

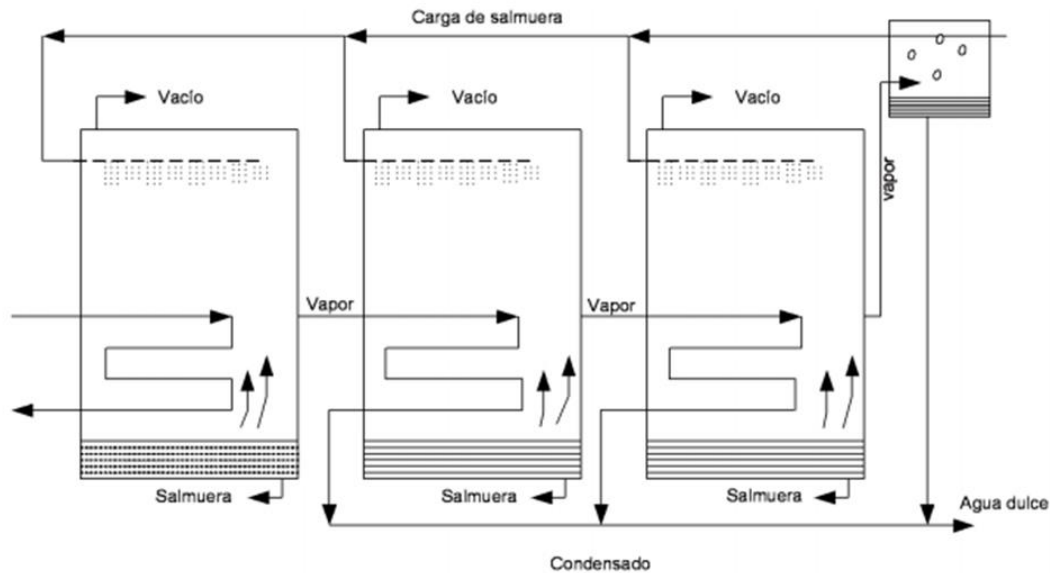
La producción de vapor en cada efecto, se aprovecha para calentar el siguiente efecto, y así continuar a través de todos los efectos hasta que el vapor del último efecto se condensa en la etapa final. El concentrado de cada efecto puede ser enviado al siguiente efecto o puede ser sacado en puntos específicos en el proceso. El destilado, agua dulce, se obtiene de la condensación del vapor en cada efecto y del condensador principal (Salmerón, 2012).

El proceso MED implica una serie de evaporadores donde es muy común encontrar arreglos de intercambiadores de calor de coraza y tubos, donde el vapor se condensa dentro de los tubos y el agua de mar se distribuye en la superficie exterior. El vapor producido en una etapa se usa para calentar la siguiente etapa. Cada evaporador (llamado efecto) mantiene una presión y temperatura decreciente. La producción de destilado de estos procesos está entre 500 a 15 000 [m³/día] (menor que la de MSF), se dimensionan de 4 a 12 efectos o cámaras de evaporación que trabajan con un rango de temperaturas de 55 a 70 °C, obteniendo calidades iguales a las MSF (Salmerón, 2012).

El proceso es mucho más robusto, a pesar de ello, es más rentable porque no requiere de partes móviles a excepción de las bombas de vacío. La operación se realiza a bajas temperaturas, lo cual reduce los problemas de corrosión e incrustación; además, las diferencias de presiones son mucho menores. Pueden emplearse diferentes fuentes de calor, como agua caliente, vapor de baja o alta presión.

Es ideal para acoplarse a centrales de generación, ya que su consumo eléctrico es bajo, así como el consumo en químicos; es de respuesta rápida y muy flexible. MVC: Fundamentos Componente principales, configuraciones (Salmerón, 2012).

Figura 2. **Planta de evaporación con múltiples efectos**



Fuente: Miller (2003)

6.2.3. Congelación

Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura para fundirlos y obtener un agua dulce, independiente de la concentración del agua inicial. Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implementación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse, también se debe adaptar la tecnología a intercambiadores fríos.

El proceso de congelación es un fenómeno natural que se contempla con mucha facilidad en el planeta. Alrededor del 70% del agua dulce está contenida en los polos terrestres. La utilización de hielo de los polos para el consumo humano es muy poco conveniente para la conservación del equilibrio del planeta (Valero, Uche & Serra, 2001).

6.2.4. Osmosis inversa

El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los pirogénicos, la materia coloidal sub microorganismos, virus y bacterias del agua. El proceso se llama ósmosis “reversa” cuando se requiere la presión para forzar el agua pura a través de una membrana provocando que las impurezas salgan detrás. La ósmosis reversa es capaz de quitar 95% - 99% de los sólidos disueltos totales (TDS) y el 99% de todas las bacterias, de esta manera se proporciona agua segura, pura.

En el proceso de la ósmosis inversa el agua es forzada a cruzar una membrana para dejar las impurezas atrás. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus son separados del agua.

6.2.4.1. Principio de la osmosis inversa

El solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada a través de una membrana semipermeable. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión osmótica aparente entre las dos soluciones.

Esta presión osmótica aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones.

Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. Se trata de la ósmosis inversa. El flujo de solvente es una función de la presión aplicada de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.

6.2.4.2. Componentes de la ósmosis inversa

Los componentes básicos de una instalación típica de ósmosis inversa se realizan en un tubo de presión conteniendo la membrana, aunque normalmente se utilizan varios de estos tubos ordenados en serie o paralelo. Una bomba suministra continuamente el fluido que se tratará a los tubos de presión. Además se encarga, en la práctica, de suministrar la presión necesaria para producir el proceso. Una válvula reguladora en la corriente de concentrado es la encargada de controlar la misma dentro de los elementos.

6.2.5. Destilación solar

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector porque destila solo unos litros al día, en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por ello, no se han desarrollado a gran escala en lugares con un consumo elevado de agua dulce. Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar, en este párrafo se circunscribe a la destilación por colectores.

El principio básico es el del efecto invernadero. El sol calienta una cámara de aire por medio de un cristal transparente, en cuyo fondo hay agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad

del viento (que enfría el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como el vidrio está inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo el condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera.

Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes o espejos (parabólicos o lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico. Pero la energía solar también puede ser la fuente de energía de un proceso de destilación, incluso de producción eléctrica para pequeñas instalaciones de ósmosis inversa. (Valero, Uche, & Serra, 2001).

6.2.5.1. Destilador solar de una vertiente

Es quizá el modelo de destilador más sencillo de estructura. Es un destilador cuyo marco externo es una caja formada por una capa de espesor suficiente, dependiendo del material con el que se fabrique. Su objetivo es reducir la conducción de energía a través del fondo y de las paredes laterales del recipiente.

La caja está dividida en dos compartimentos, uno con el fondo de color negro donde se coloca el agua que se evaporará, absorbedor, que ocupa la mayor parte de la caja y el otro, donde se recoge el agua destilada y se encuentra en el lado de menor altura.

El destilador posee, además, una cubierta cuadrangular transparente de vidrio, cuyas dimensiones son variadas, con un grosor de entre 3 y 5 mm. Colocada con una determinada inclinación (de 15° a 30°) respecto de las

paredes del destilador, esta inclinación debe ser tal que permita fluir hasta el colector a la totalidad del condensado, sin que nada caiga dentro del compartimiento. (Marchesi, 2006).

6.2.5.2. Destilador solar de dos vertientes

Este modelo consta de un tejado de material transparente de dos vertientes. Las gotas de agua que se han condensado en el panel transparente se deslizan por los lados y precipitan a un depósito situado bajo la bandeja donde se dispone el agua para destilar.

6.2.5.3. Destilador solar de invernadero

Este es un modelo que consta de estructuras de invernaderos. Consiste en una caseta de material semitransparente, generalmente vidrio de 5 mm de espesor en cuyo interior albergan un estanque de agua de poca profundidad con el fondo de color negro y herméticamente cerrado con vidrio transparente. Los ángulos que forman las láminas de vidrio del invernadero con la horizontal pueden variar, obteniéndose diferentes rendimientos para los diversos casos. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se desliza hacia las canaletas situadas en la base de las paredes.

6.2.5.4. Destilador solar de cascada

Modelo de destilador en forma de terrazas. En la parte superior de cada una de las terrazas se disponen los estanques con fondo de color negro llenos de agua para destilar. Cuando la radiación solar incide en el destilador comienza la evaporación. (Zarza, 1995).

El agua en estado gaseoso se condensa en una superficie transparente dispuesta de forma inclinada sobre las terrazas y se desliza hacia el receptor situado en la parte baja del destilador. (Zarza, 1995).

6.3. Balance de energía del destilador

Las pérdidas de calor del destilador solar de tipo invernadero son de varios tipos. Entre ellas pueden mencionarse las pérdidas por convección y radiación desde el agua caliente hacia la cubierta más fría, la reflexión tanto de la cubierta como de la superficie de agua salina, la transferencia térmica de la base y los bordes a los alrededores y las pérdidas de condensado que caen en el agua salina en lugar de escurrirse hacia el depósito de almacenamiento de agua dulce. (Naciones Unidas, 1972).

La transferencia térmica de la cubierta al medio no constituye una pérdida, sino más bien un efecto termodinámico indispensable para la continuación del proceso.

Debido a que la dirección, así como la magnitud de la radiación solar que incide sobre el destilador cambian continuamente, igual que la temperatura ambiente y en ocasiones la velocidad del viento, es necesario considerar la operación de un destilador solar como un sistema dinámico. En todo momento, la operación del destilador es determinada por la relación entre las tasas de transferencia de calor y masa, así como de los balances energéticos.

El balance energético del destilador requiere que el total de energía solar absorbida sea igual a la energía transferida desde la cubierta, más las pérdidas por el fondo y los bordes del destilador, más la energía almacenada dentro del sistema. (Naciones Unidas, 1972).

Para una unidad de superficie de destilador solar, a una intensidad de radiación solar, H_s , con una cubierta transparente que tenga un coeficiente de transmitancia, τ , y un coeficiente de absorbanza, α_g , un estanque de agua cuyo coeficiente de absorbanza sea, α_w , y siendo la capacidad calorífica del sistema, c_{wg} , el balance energético del destilador puede escribirse de acuerdo con la ecuación (1). (Naciones Unidas, 1972).

$$\alpha_g H_s + \alpha_w T H_s = q_{ga} + q_b + \frac{(C_{wg})dT_w}{dt}$$

Donde:

$\alpha_g H_s$ = energía absorbida por el vidrio

$\alpha_w T H_s$ = energía solar transmitida a través del vidrio y absorbida en el estanque

q_{ga} = energía transferida de la cubierta al aire

q_b = energía perdida por la base del destilador al medio

$\frac{(C_{wg})dT_w}{dt}$ = energía almacenada en el sistema medida que la temperatura del agua T_w cambia con el tiempo.

La transferencia térmica entre la cubierta de vidrio y el medio es la suma de tres flujos térmicos, $q_r + q_c + q_e$, más la energía solar absorbida por el vidrio, como se expresa en la ecuación (2)

$$q_{ga} = q_r + q_c + q_e + \alpha_g H_s$$

q_r = Intercambio de energía por radiación del estanque a la cubierta

q_c = Intercambio de energía por convección del estanque a la cubierta

q_e = Intercambio de energía por evaporación-condensación del estanque a la cubierta.

6.4. Calidad del agua

La calidad del agua se define de acuerdo con el uso que vaya a dársele. Este estudio se enfoca en la calidad del agua para consumo humano según la norma NGO 29001 de COGUANOR y la calidad del agua para uso industrial según la norma CATIE.

6.4.1. Características físicas

Son características sensoriales (detectadas por los sentidos) que pueden influir en que el consumidor acepte o rechace el agua; las siglas LMA (Límite Máximo Aceptable) se refieren a valores de características no detectadas por el consumidor, o si las detecta son consideradas despreciables. Las siglas LMP (Límite Máximo Permisible) se refieren a valores máximos de características arriba de las cuales el agua es considerada como no potable (COGUANOR NGO 29001).

6.4.2. Características químicas

El agua, químicamente pura, es un compuesto de fórmula molecular H_2O . Un átomo de oxígeno liga a dos átomos de hidrógeno. Los átomos de hidrógeno se "unen" a un lado del átomo de oxígeno, resultando en una molécula de agua, con una carga eléctrica positiva en un lado y una carga negativa en el otro. Ya que las cargas eléctricas opuestas se atraen, las moléculas de agua tienden a atraerse unas a otras.

6.4.2.1. Dureza del agua

La composición del agua subterránea está relacionada con la química de las formaciones geológicas a través de las cuales haya pasado la misma. El agua como solvente universal puede contener un gran número de compuestos químicos disueltos, para los cuales se han establecido valores máximos de aceptación, tanto para uso industrial del agua norma CATIE y la norma para agua potable establecida por la COGUANOR.

6.4.3. Características microbiológicas

Las bacterias son los organismos vivos más numerosos que existen, por lo mismo, están presentes casi en todas partes. El agua subterránea no es la excepción, por este motivo es necesario realizar pruebas bacteriológicas para determinar el grado de contaminación que tiene la misma.

El agua puede contener pequeñas contaminaciones de aguas negras, las cuales no pueden ser detectadas mediante análisis físicos o químicos, sin embargo, esto es posible con las pruebas bacteriológicas.

6.4.3.1. Pruebas bacteriológicas de contaminación

. Pelczar (1998) presupone que el objetivo de los análisis microbiológicos del agua es determinar la existencia de microorganismos patógenos en ella. Sin embargo, esto no es verdad, por las siguientes razones:

- Los organismos patógenos llegan al agua en forma esporádica y no sobreviven mucho tiempo; por lo tanto, pueden no estar en una muestra analizada.

- Si se encuentran en pequeñas cantidades pueden pasar inadvertidas para los procedimientos empleados.
- Se necesitan 24 horas o más para obtener resultados de los exámenes y si se encuentran microorganismos patógenos, muchas personas pueden haber tomado agua antes de que se conozcan los resultados y así haberse expuesto a la infección

Los microorganismos patógenos que llegan a los depósitos de agua proceden de las descargas intestinales de seres humanos y animales. Además, ciertas especies de bacterias, particularmente *Escherichia coli*, y varios microorganismos similares, denominados coliformes, estreptococos fecales (como *Streptococcus faecalis* y *Clostridium perfringens*), son habitantes normales del intestino grueso del hombre y animales y, en consecuencia, siempre están en las materias fecales. Así pues, la presencia de cualquiera de estas especies en el agua evidencian contaminación fecal y el camino está abierto a los patógenos ya que se encuentran en las materias fecales. (Pelczar, 1998.684)

Puesto que los exámenes de laboratorio para encontrar microorganismos patógenos en el agua tienen las desventajas anteriormente mencionadas, se han desarrollado técnicas para detectarlos en las excretas, particularmente los del grupo coliforme. Este propósito ha probado ser satisfactorio en la práctica y tiene las siguientes ventajas:

- Los microorganismos coliformes, sobre todo *E. coli*, habitan constantemente en el intestino humano en grandes cantidades. Se estima que una persona, en promedio, excreta al día miles de millones de estos microorganismos. (Pelczar, 1998.684).

- Estos microorganismos viven más tiempo en el agua que los patógenos. (Pelczar, 1998.684).
- Obviamente, una persona sana, en general, no elimina microorganismos patógenos, pero puede desarrollársele una infección intestinal y esos microorganismos aparecerán en las materias fecales. Así, la presencia de coliformes en el agua se toma como señal de alarma, pues ha sido contaminada peligrosamente. (Pelczar, 1998.684).

El grupo coliforme comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa. Las especies clásicas de este grupo son *Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*. *E. Coli*, como ya ha sido señalado, es un habitante normal del intestino humano y de los animales. *Ent. Aerogenes* es más frecuente en granos y plantas, pero también en las materias fecales. (Pelczar, 1998.684)

Como estas especies tienen gran semejanza en su aspecto morfológico y características de cultivo, es necesario recurrir a pruebas bioquímicas para diferenciarlas. Reacciones que tengan las siguientes cuatro características son muy importantes para lograr este propósito:

- Capacidad para producir indol. *E. Coli* lo produce, y *Ent. Aerogenes* no.
- Cantidad de ácido producida en un medio especial de caldo glucosado adicionado del indicador rojo de metilo. Los dos microorganismos producen ácido de la glucosa. Sin embargo, *E. Coli* produce un pH más bajo, lo que hace que vire al rojo de metilo, mientras que *Ent. Aerogenes* no cambia el color.

- Capacidad para producir acetilmetilcarbinol en un medio de peptona glucosado. Este compuesto químico se detecta por la reacción de *Voges-Proskauer*. *E. coli* no produce acetilmetilcarbinol mientras que *Ent. aerogenes* sí lo hace.
- Utilización de citrato de sodio. *Ent. aerogenes* es capaz de utilizar el citrato de sodio como su única fuente de carbono, esto es, se desarrollará en un medio de cultivo químicamente definido en el cual el citrato de sodio es el único compuesto de carbono. *E. coli* no se desarrollará en estas circunstancias. (Pelczar, 1998.684).

Por conveniencia, a estas pruebas se les ha designado en forma colectiva reacciones IMViC (I=indol, M= rojo de metilo, Vi= reacción Voges-Proskauer y C= citrato). Con estas pruebas se puede detectar la contaminación del agua con materias fecales. (Pelczar, 1998.684).

6.4.4. Cloración

El cloro se ha usado como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo humano. Se puede usar como gas generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio, NaOCl, y como sólido comúnmente hipoclorito de alto grado, HTH, o hipoclorito de calcio, Ca(OCl)₂.

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



Para concentraciones de cloro menores de 1000 mg/l, caso general en la práctica, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como puede observarse, en la ecuación anterior, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y, consecuentemente, su pH debido a la acción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso, HOCl. El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito: $\text{HOCl} \leftrightarrow \text{OCl}^- + \text{H}^+$ (Romero, 1999.196)

Como es evidente, la disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración de ion hidrógeno, o sea del pH. A pH 6 o menor la disociación del HOCl se inhibe; el residual es predominantemente HOCl; a pH igual a 7,7 los residuales de HOCl y OCl son aproximadamente similares y a pH igual o mayor que 9,0 casi todo el residual es OCl⁻. (Romero,1999.196)

Las especies HOCl y OCl⁻ en el agua constituyen lo que se denomina cloro libre disponible o residual de cloro libre. Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio se tiene: $\text{NaOCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{OCl}^-$, $\text{OCl}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HOCl} + \text{OH}^-$. En este caso se presentará un aumento de alcalinidad, dependiente de la magnitud con que el OCl⁻ reaccione con el agua. Finalmente, si el cloro se agrega como hipoclorito de calcio, HTH, se tiene: $\text{Ca(OCl)}_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{++} + 2\text{OCl}^-$, $2\text{OCl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{HOCl} + 2\text{OH}^-$. (Romero,1999.196)

El efecto será, entonces, un aumento tanto de la alcalinidad como de la dureza total del agua. Si existe amoníaco, el ácido hipocloroso reaccionará con él para producir cloraminas, que es lo que se conoce como cloro combinado disponible o residual de cloro combinado. (Romero, 1999).

6.4.5. Característica de la de la concentración del agua de mar

“El agua del mar se puede beber y además es un excelente nutriente, un antibiótico natural que puede curarnos del 90% de las enfermedades y un elemento básico para luchar contra el hambre en el mundo. La ciencia nos dice que la vida en la tierra surgió del agua de mar y que nuestro cuerpo está compuesto de agua en un 70%. El agua de mar tiene prácticamente la misma composición que nuestro plasma corporal.” (Torrent, 2011)

6.4.5.1. Hipertónica

Una bebida hipertónica es aquella cuya concentración es más elevada que la de los líquidos del medio interno. (Recuperat-ion, 2013)

6.4.5.2. Hipotónica

Una bebida hipotónica presenta una concentración menos elevada que la de los líquidos del medio interno. (Recuperat-ion, 2013)

6.4.5.3. Isotónica

Una bebida isotónica presenta una concentración equivalente a la de los líquidos del medio interno. (Recuperat-ion, 2013).

Los efectos de la administración de soluciones hipotónicas o hipertónicas se deben a la modificación de la osmolaridad; en cambio, cuando se administra solución salina fisiológica (NaCl al 0.9%) u otras soluciones isotónicas, no cambia la tonicidad de los comportamientos y se conserva líquido en el interior del organismo, el cual sólo se elimina con lentitud. (Garza, s.f.)

Por ejemplo, Rioka extrae el agua en la costa del Mar Cantábrico en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. Este agua se transporta a sus instalaciones donde es tratada, depurada y embotellada apta para su consumo con todas las garantías sanitarias y garantizando la calidad de la misma. Después de los tratamientos de decantación y filtrado, este agua del Cantábrico se embotella y distribuye con dos tipos de concentración, hipertónica 100% agua de mar e isotónica aproximadamente un 25% agua de mar y 75% agua mineral. (Rioka, s.f.)

6.4.6. Parámetros de la Norma COGUANOR NTG 29001 para consumo humano

La Norma COGUANOR NTG 29001 tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.

6.4.6.1. Características físicas y organolépticas

Las propiedades organolépticas del agua son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene el agua, según las pueden percibir los sentidos. La norma COGUANOR establece los siguientes parámetros:

Tabla I. **Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm ^(d)
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 ^{(c) (d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
 (c) En unidades de pH
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

6.4.6.2. Características químicas

La Norma COGUANOR considera las características químicas que debe tener el agua para consumo humano. Además, establece valores de relación de las sustancias inorgánicas, sustancias plaguicidas y sustancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.

Tabla II. **Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) ^(b)	0,3	----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.
 b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

Tabla III. **Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN ⁻)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO ₃ ⁻)	50,0
Nitrito (NO ₂ ⁻)	3,0

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

Tabla IV. **Sustancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

^(*) Aunque algunas de estas sustancias ya no son permitidas se asignan los valores límite, debido a su

Grupo	LMP (µg/L)
<u>Compuestos organoclorados^(*)</u>	
Aldrin y Dieldrin	0,03
Clordano	0,20
Clorotolurón	30,0
DDT y sus metabolitos	1,00
Endrin	0,60
Lindano	2,00
Metoxicloro	20,0
Pentaclorofenol	9,00
<u>Acidos fenoxi</u>	
2,4-D	30,0
2,4-DB	90,0
2,4,5-T	9,00
Mecoprop	10,0
Dicloroprop	100,0
MCPA	2,00
<u>Fumigantes</u>	
1,2-Dicloropropano	40,0
1,3-Dicloropropeno	20,0
DBCP (1,2-Dibromo-3-cloropropano)	1,00
<u>Triazinas</u>	
Atrazina	2,00
Simazina	2,00
<u>Acetanilidas</u>	
Alacloro	20,0
Metolacloro	10,0
<u>Carbamatos</u>	
Aldicarb y sus metabolitos	10,0
Carbofurán	7,00
Isoproturón	9,00
Molinato	6,00
Pendimetalina	20,0
<u>Amidas</u>	
Di (etil-hexil) ftalato	8,00
Trifluralin	20,0
<u>Organofosforados</u>	
Carbofurán	7,00
Clorpirifós	30,0
Dimetoato	6,00

persistencia ambiental.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

Tabla V. **Sustancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Compuesto	LMP (µg/L)
Acido edético (EDTA) ⁽⁴⁾	600,0
Acido nitrilo triacético	200,0
Benceno	10,0 ⁽¹⁾
Cloruro de vinilo	0,3 ⁽¹⁾
o-diclorobenceno	1000,0 ⁽²⁾
p-diclorobenceno	300,0 ⁽²⁾
1,2-dicloroetano	30,0 ⁽¹⁾
1,1-dicloroetano	30,0
1,2-dicloroetano	50,0
cis-1,2-dicloroetileno	50,0
trans-1,2-dicloroetileno	50,0
Diclorometano	20,0
1,2-dicloropropano	40,0 ⁽³⁾
Di(2-etilhexil)ftalato	8,0
1,4-dioxano	50,0 ⁽¹⁾
Estireno	20,0 ⁽²⁾
Etilbenceno	300,0 ⁽²⁾
Hexaclorobutadieno	0,6
Pentaclorofenol	9,0 ^{(1) (3)}
Tetracloruro de carbono	4,0
Tetracloroetano	40,0
Tolueno	700,0 ⁽²⁾
Tricloroetano	20,0 ⁽³⁾
Xileno	500,0 ⁽²⁾

(1) El valor de referencia de las sustancias que se consideran cancerígenas es la concentración en el agua asociada con un límite de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer por cada 100.000 personas que ingieren agua de bebida con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de 10^{-4} y 10^{-3} pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.

(2) Concentraciones de la sustancia iguales o superiores al valor de referencia basado en criterios de salud pueden afectar la apariencia, gusto u olor del agua, dando lugar a reclamos por parte de los consumidores.

(3) Valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero existe escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.

(4) Aplica al ácido libre.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

6.4.6.3. Características microbiológicas

La constitución de las aguas incluye una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero

también provenir de contaminación por vertidos cloacales o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La calidad y cantidad de microorganismos acompañan las características físicas y químicas del agua ya que, cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma manera los crustáceos se incrementan y, por lo tanto, los peces de idéntica manera. Para ello la Norma COGUANOR establece los siguientes límites.

Tabla VI. **Valores guía para verificación de la calidad microbiológica del agua**

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

6.4.6.4. Aspectos radiológicos

“La radiación ambiental procede de diversas fuentes, de origen natural y producidas por el hombre. En todas partes del medio ambiente hay presencia de materiales radioactivos de origen natural (como uranio, torio y potasio-40). La mayor proporción, con diferencia, de la exposición de las personas a la radiación procede de fuentes naturales, tanto de fuentes externas, como la radiación cósmica y terrestre, como de la inhalación o ingestión de materiales radioactivos”. (OMS, 2006)

En Guatemala, los parámetros base son establecidos por la Norma son los siguientes:

Tabla VII. Valores guía para los aspectos radiológicos en agua

Características	Valor Máximo Aceptable	Observaciones
Radioactividad alfa total	0,10 Bq/L ⁽¹⁾	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos.
Radioactividad beta total	1,0 Bq/L	

⁽¹⁾ Bq es Bequerel que es la unidad radiométrica utilizada para medir la actividad de una fuente. Se simboliza por Bq y es equivalente a 1 desintegración/segundo.

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

Tabla VIII. Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua

Radiación	Indicador	Límites
Alfa artificial	Americio 241	0,1 Bequerel/L
Beta artificial	Estroncio 90	1,0 Bequerel/L
Gamma artificial	Cesio 137	No definido

Fuente: Norma COGUANOR NTG 29001.

7. HIPÓTESIS

Por ser una investigación de tipo cuantitativo descriptivo, no aplica.

8. ÍNDICE PROPUESTO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR

1.2. Procesos de desalación de agua de mar

1.2.1. Msf: destilación por efecto *flash*

1.2.2. Med: destilación por efecto múltiple

1.2.3. Congelación

1.2.4. Ósmosis inversa

1.2.4.1. Principio de la osmosis inversa

1.2.4.2. Componentes de la osmosis inversa

1.2.5. Destilación solar

1.2.5.1. Destilación solar de una vertiente

1.2.5.2. Destilación solar de dos vertientes

1.2.5.3. Destilador solar de invernadero

1.2.5.4. Destilador solar en cascada

1.3. Balance de energía del destilador

1.4. Calidad del agua

1.4.1. Características físicas

1.4.2. Características químicas

1.4.2.1. Dureza del agua

1.4.3. Características microbiológicas

1.4.3.1. Pruebas bacteriológicas de contaminación

1.4.4. Cloración

1.4.5. Característica de la de la concentración del agua de mar.

1.4.5.1. Hipotónica

1.4.5.2. Hipertónica

1.4.5.3. Isotónica

1.4.6. Parámetros de la Norma COGUANOR NTG 29001 para consumo humano.

1.4.6.1. Características físicas y organolépticas

1.4.6.2. Características químicas

1.4.6.3. Características microbiológicas

1.4.6.4. Aspectos radiológicos

2. DATOS Y ESTUDIO DE CASOS

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el tipo de estudio y las diferentes fases que abarcará el diseño de investigación para su realización.

9.1. Tipo de estudio

Este estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, porque describirá cuánta energía solar se consume para que un litro de agua de mar se transforme en agua apta para consumo. Así mismo, caracteriza las variables que intervienen en este proceso y el análisis del agua antes del proceso de destilación y después de él.

9.2. Fases del estudio

El estudio estará compuesto por cuatro fases que comprende la exploración bibliográfica; posteriormente se realizará el diseño del desalinizador solar que se ajuste a las características necesarias para el estudio, luego, se realizará el prototipo con el cual se hará la evaluación de la desalinización del agua de mar. La información obtenida se analizará para dar paso a la última fase que consistirá en la determinación de la calidad del agua desalinizada para consumo humano y, por ende, la efectividad del prototipo seleccionado.

9.2.1. Fase 1: Exploración bibliográfica

En esta primera fase de estudio se revisará toda la bibliografía que se considere pertinente para la explicación del tema de investigación con todas sus variables y componentes para el análisis del funcionamiento del desalinizador solar y la producción de agua apta para consumo humano.

9.2.2. Fase 2: Selección del diseño del desalinizador

Con la información obtenida, se realiza un ejercicio de selección, para la toma de decisiones de acuerdo con las características propias de la región y de las específicas del proyecto, para adaptarlas a las condiciones en las cuales el proyecto deberá trabajar. Las condiciones que se analizarán para el diseño del desalinizador serán:

- Ángulo de la superficie de vidrio o de poliuretano: ángulo con el cual se colocará la superficie del techo definido por criterio y diseño, se estima entre 40° y 45° [°].
- Costo de los materiales [Q].
- Volumen de agua de mar: cantidad de solución salina colocada en el recipiente para realizar el proceso de destilación [m^3].
- Área de captación de radiación solar: área definida para la recepción de energía solar, de la cual depende el volumen de agua destilada a obtener [m^2].
- Recipiente de captación de agua destilada.

De los estudios previos de la radiación, se seleccionará un desalinizador de vertiente.

Una vez realizada la selección, se desarrollará el diseño del prototipo de desalinizador. Se tomará en cuenta la hidráulica del sistema para que puedan ingresar automáticamente, los caudales de entrada y reposición de agua cruda a la zona de proceso, para mantener la lámina de agua que pueda ser evaporada de manera más o menos constante, el ángulo de la superficie de vidrio para producir condensado, las canales y tubería de colección de agua destilada.

9.2.3. Fase 3: Construcción del prototipo

Se construirá el prototipo para evaluarlo en función del caudal que produce y, sobre todo, la calidad del agua que se obtenga después del proceso de destilación de agua de mar.

Recopilar información sobre las metodologías utilizadas para el desarrollo de procesos de desalinización, las investigaciones específicas, sobre estos sistemas utilizados en zonas insulares, los métodos de diseño y construcción de destiladores solares, al igual que el funcionamiento de destiladores solares en función de su diseño. Además, investigar sobre los esquemas típicos de los prototipos de destiladores solares y los procedimientos.

Existen diversas clases de materiales que se utilizan típicamente en la construcción de desalinizadores solares. Una propiedad que debe considerarse en los materiales por seleccionar, es la resistencia a la humedad.

Además, es necesario proveer diversos materiales que garanticen que el desalinizador solar conserve su configuración y forma dada, y tenga una resistencia prolongada.

Para que el interior del destilador solar alcance temperaturas suficientemente altas para evaporar, las paredes y la parte inferior deben tener un buen valor de aislamiento (retención del calor). Se incluyen entre los buenos materiales aislantes: hoja de aluminio (reflector brillante), plumas (las plumas de abajo son las mejores), lana de fibra de vidrio, lana de roca, celulosa, cascarillas de arroz, lana, paja y periódicos arrugados, tecnopor.

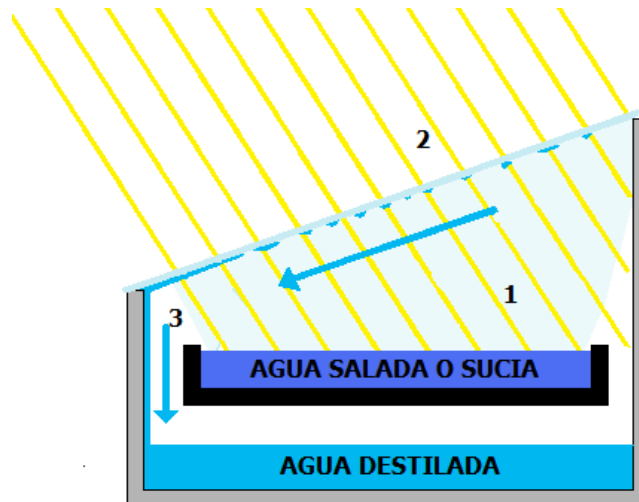
Cuando se construye un destilador solar, es importante que los materiales aislantes rodeen el interior de la cavidad por todos los lados, excepto por el lado acristalado, normalmente, el superior. Los materiales aislantes deben ser instalados para permitir la mínima conducción de calor desde los materiales estructurales del interior de la caja hacia los materiales estructurales del exterior de la caja. Cuanta menos pérdida de calor haya en la parte inferior de la caja, más alta serán las temperaturas de cocción.

Finalmente, una superficie del destilador debe ser transparente y encararse al sol para suministrar calor por medio del “efecto invernadero”. Los materiales vidriados más comunes son el cristal y el plástico resistentes a altas temperaturas, como las bolsas para asar que se usan en las cocinas. Se utiliza doble vidrio, de cristal o de plástico para influir tanto en la ganancia como en la pérdida de calor. Dependiendo del material que se use, la transmisión, la ganancia de calor puede reducirse entre un 5% - 15%. Sin embargo, gracias a reducir a la mitad la pérdida de calor a través del cristal o del plástico, el resultado global del destilador se incrementará.

Cuando el agua se calienta en el destilador solar, se crea una presión de vapor, conduciendo la humedad desde el interior al exterior. Hay varias maneras de que esta humedad pueda salir. Puede escapar directamente a través de los huecos y las grietas o introducirse en las paredes y la parte inferior

del destilador, si no hay una barrera de humedad. Si se diseña con cierres herméticos y barreras de humedad, el vapor de agua puede ser retenido dentro. En el diseño de la mayoría de destiladores solares, es importante que la mayoría de la parte interior tenga una buena barrera de vapor. Esta barrera impedirá desperfectos por agua en los materiales, tanto aislantes como estructurales, a causa de la lenta migración del vapor de agua en las paredes y la parte inferior.

Figura 3. **Esquema del desalinizador solar de una vertiente**



Fuente: Medina, O. (2011)

9.2.4. Fase 4: Análisis del prototipo

Esta investigación está orientada a evaluar el comportamiento del prototipo de destilador solar y la eficiencia del sistema en las condiciones medioambientales del lugar de estudio. Permite solucionar el problema planteado inicialmente. Para ello, las características que se habrán de controlar son:

- Cantidad de agua desalada que puede suministrar el destilador solar en función del tiempo. Esto se medirá diariamente por medio de un aforo volumétrico.
- Área de captación solar, está definida por el criterio del diseñador del prototipo medida en m².
- Temperatura interna, se medirá con un termómetro láser industrial registrada en °C.
- Radiación solar de la región, se establecerá mediante las estadísticas ya realizadas por la NASA, medida en kW/m².
- Eficiencia del prototipo, se mide en función de la producción y las características y las características fisicoquímicas del agua destilada, se representará como porcentaje.

Las condiciones que debe cumplir el proyecto son las siguientes: solución de fácil operación, económica y sostenible con el medio ambiente, que aproveche las energías renovables, como la solar, que resuelva la problemática de escasez de agua para los habitantes de las zonas costeras del país.

El diseño del proyecto es de tipo experimental, en el cual se realizarán pruebas, ensayos y mediciones al prototipo de destilador solar a escala piloto. Las pruebas se orientarán a determinar el volumen de agua que puede destilar en un tiempo determinado (caudal). Para ello, se utilizará un recipiente aforado en unidades de medida en mililitros, para el cálculo del caudal en (ml/día). Para la medición de la intensidad de los rayos solares que inciden sobre el destilador y determinar con precisión la relación entre esta y la producción, se utilizó un radiómetro. La unidad de medición del equipo está dada en *watts* por metro cuadrado (w/m²). Para la medición de la temperatura ambiente se utilizará un termómetro en grados Celsius (°C).

Para la tabulación de los datos se utilizará la siguiente tabla.

Tabla IX. **Cálculo de caudal destilado**

No.	Hora inicio [hrs]	Hora final [hrs]	Volumen destilado [ml]	Intensidad solar [wats/m ²]	Temperatura [°C]

Fuente: elaboración propia.

Para medir las características del agua desalinizada, una vez se obtiene una muestra representativa del proceso se le determinan propiedades fisicoquímicas a través de análisis realizados en los laboratorios de aguas. Únicamente se realizará un análisis de calidad del agua.

Para determinar si el prototipo de destilador solar es eficiente en cuanto a las propiedades del agua, se toman como referencia los rangos establecidos por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano que establece la Norma COGUANOR NTG 29001.

9.3. Análisis de resultados

La información obtenida de los ensayos y mediciones se recolecta con una frecuencia diaria y registra en una bitácora. Los datos obtenidos se tabularán en la siguiente tabla.

Tabla X. **Tabla de parámetros promedios diarios**

Día	Volumen destilado [ml]	Intensidad solar [watts/m²]	Temperatura [°C]

Fuente: elaboración propia.

Para la información de la caracterización del agua se toma una muestra representativa del agua desalinizada y se envía a un laboratorio para que, mediante ensayos se determinen las propiedades. Los resultados serán tabulados en la tabla III, haciendo una comparación con la norma COGUANOR NTG 29001.

Tabla XI. **Comparación de las características químicas del agua**

Característica	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)	Características iniciales	Características finales
Cloro residual libre(a)	0,5	1,0		
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0		
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0		
Sulfato (SO ₄ ⁻⁻)	100,0	250,0		
Aluminio (Al)	0,050	0,100		
Calcio (Ca)	75,0	150,0		
Cinc (Zn)	3,0	70,0		
Cobre (Cu)	0,050	1,500		
Magnesio (Mg)	50,0	100,0		
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4		
Hierro total (Fe)	0,3	-----		

Fuente: elaboración propia.

9.3.1. Definición operacional de variables

- Conductividad
- Turbiedad
- Propiedades fisicoquímicas del agua
- Temperatura
- Radiación solar
- Destilación
- Caudal
- PH
- Dureza del agua

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información de los estudios realizados para la obtención de los resultados del desalinizador solar será catalogada de acuerdo con el tiempo de toma de datos y a los días en que se realizaran los análisis. Con ello, se dejará constancia de los procedimientos realizados para realizar la investigación y los métodos utilizados para proyectar los resultados.

10.1. Herramientas para la obtención de la información

- Tabla semana, día, hora, temperatura.
- Tabla semana, día, hora, radiación
- Tabla semana, día, hora, cantidad de agua salada.
- Tabla semana, día, hora, caudal de agua desalinizada.
- Tabla de costos del prototipo.
- Tabla de caracterización de agua antes de desalinizar y después de desalinizar.

10.2. Herramientas estadísticas a utilizar

- Valores promedio de temperatura
- Valores promedio de radiación
- Valores promedio de caudal de agua desalinizada
- Valores promedio de cantidad de agua salada
- Gráfico de temperatura vs tiempo de medición
- Gráfico de cantidad de agua desalinizada vs tiempo de medición
- Gráfico de cantidad de agua salada vs tiempo de medición

- Gráfico de temperatura vs cantidad de agua desalinizada
- Gráfico de cantidad de agua desalinizada vs radiación

11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta un esquema de la distribución planificada del tiempo de ejecución necesario para realizar las fases propuestas en la metodología.

Figura 4. **Cronograma de ejecución de la investigación**

FASES DE INVESTIGACION	AÑO 2016			AÑO 2017		
	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO
FASE 1: Exploracion bibliográfica	■	■	■			
FASE 2: Recoleccion de datos		■	■	■	■	
FASE 3: Analisis de datos				■	■	■
FASE 4: Propuesta de modelo y resultados						■

Fuente: elaboración propia.

12. RECURSOS Y FACTIBILIDAD

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Dado que la investigación es descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

Tabla XII. **Recursos necesarios para la investigación**

Recurso	Costo
Materiales consumibles	Q2 000,00
Movilización	Q1 500,00
Asesor	Q2 500,00
TOTAL	Q6 000,00

Fuente: elaboración propia.

Los recursos aportados son suficientes para la investigación y se considera que es factible la realización del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arcieri, V. (2014). El Heraldó. El mar se ha tragado 300 metros cuadrados de Tierrabomba. Recuperado de <http://www.elheraldo.co/bolivar/el-mar-se-ha-tragado-300-metros-cuadrados-de-tierrabomba-146376>
2. Armendáriz, Gándara, Foster, Koutsoukos, Bautista, Grado & Alonso. (2005). Estudio de la precipitación de carbonato de calcio en un destilador solar experimental. Revista internacional de contaminación ambiental: 5 – 15. México: UAM.
3. Botero, E. (2000). Valoración exergética de los recursos naturales. (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza.
4. Clair N. Sawyer, Perry L, McCarty, Gene F, Parkin. (2001). Química para ingeniería ambiental. McGraw-Hill.
5. Flores. (2012). Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar tubular para desalinizar agua de mar. (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann). Recuperado de http://tesis.unjbg.edu.pe:8080/bitstream/handle/unjbg/255/140_2013_Mamani_Flores_E_FACI_Fisica_Aplicada_2012.pdf?sequence=1

6. Garza, E. P. (s.f). Metabolismo del agua y los electrolitos. Recuperado de: http://www.facmed.unam.mx/publicaciones/libros/pdfs/laguna_41-56.pdf
7. Jiménez, A.M. (2013). Diseño de una planta piloto. (Tesis de licenciatura, Universidad del Valle Guatemala). Recuperado de http://eime.univalle.edu.co/Proyectos_alternativas/Diseno_de_una_planta_piloto.pdf
8. Mccarthy, P., Parkin, G., Sawver, C, (2001). Química para ingeniería ambiental. Universidad de Zaragoza.
9. Montecino, L. (2014). El Herald. Región Caribe sufre por el descenso en los niveles de ríos y cuencas. Recuperado de <http://www.elheraldo.co/local/region-caribe-sufre-por-el-descenso-en-los-niveles-de-rios-y-cuencas-160827>
10. Organización Mundial de Salud OMS. (2013). Organización Mundial de la Salud. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/82218/1/9789243564586_spa.pdf.
11. Organización Mundial de la Salud. (2006). Guidelines for Drinking-water Quality FIRST ADDENDUM TO THIRD EDITION Volume 1 Recommendations. Recuperado de: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq0506.pdf

12. Oviedo, C & Gamarra. (2011). Tendencias investigativas aplicables en el aprovechamiento de energía solar para la potabilización del agua para el departamento de bolívar. Cartagena: McGraw-Hill
13. QuimiNet. (2007). QuímiNet. Qué es la ósmosis inversa. Recuperado de <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-osmosis-inversa-18669.htm>
14. Raffel, M, Willert, C, Wereley, S & Kompenhans, J. (2007). Particle image velocimetry. A Practical Guide. Berlin: Springer.
15. Recuperat-ion (2013). Hipotónico, isotónico, hipertónico. ¿En qué se diferencian? Recuperado de: <https://recuperat-ion.com/blog/hipotonico-isotonico-hipertonico-en-que/>
16. RIOKA (s.f). El Agua de Mar Rioka. (RIOKA Agua del mar Cantábrio). Recuperado de: <https://www.rioka.es/agua-de-mar/>
17. Tanaka, Nakatake. (2007). Effect of inclination of external flat plate reflector of basin type still in Winter. Solar Energy: 1035 – 1040.
18. Téllez. (2008). Desarrollo y análisis energético de destiladores solares de agua con convección natural y convección forzada. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2941/1/castillotellez.pdf>
19. Tiwari, G.N, Thomas, J.M & Khan. (1994). Optimization of glass cover inclination for maximum yield in a solar still. Heat Recovery Systems and CHP: 447 – 455.

20. Torrent A. (2011). El agua de mar nutriente y medicina. (Mesiento.com).
Recuperado de: <http://www.mesiento.com/el-agua-de-mar-nutriente-y-medicina>

21. Uche, J. (2000). Análisis Termoeconómico y simulación de una planta combinada de producción de agua y energía. (Tesis doctoral).
Universidad de Zaragoza.