



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO
AMBIENTE**

MODALIDAD:

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFICIENCIA DE UN DESTILADOR SOLAR, ADAPTANDO
COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR**

AUTORES:

NATHALY MARILYN GUERRERO CORNEJO

VÍCTOR GABRIEL PISCO DEMERA

TUTOR:

ING. FRANCISCO J. VELÁSQUEZ INTRIAGO, M. Sc.

CALCETA, JULIO 2020

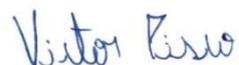
DERECHOS DE AUDITORÍA

Nathaly Marilyn Guerrero Cornejo y Víctor Gabriel Pisco Demera, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



NATHALY M. GUERRERO CORNEJO



VICTOR G. PISCO DEMERA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ing. Francisco Javier Velásquez Intriago, M.Sc., certifica haber tutelado el proyecto **“EFICIENCIA DE UN DESTILADOR SOLAR, ADAPTANDO COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR”**, que ha sido desarrollada por **GUERRERO CORNEJO NATHALY MARILYN** y **PISCO DEMERA VÍCTOR GABRIEL**, previa la obtención del título de Ingeniera/o en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



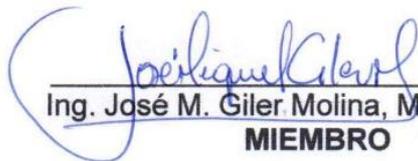
Ing. Francisco Velásquez Intriago, M. Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** el trabajo de titulación **EFICIENCIA DE UN DESTILADOR SOLAR, ADAPTANDO COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por **GUERRERO CORNEJO NATHALY MARILYN** y **PISCO DEMERA VÍCTOR GABRIEL**, previa la obtención del título de Ingeniera/o en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



Ing. Carlos A. Villafuerte Vélez, Mg. C.A.
MIEMBRO



Ing. José M. Giler Molina, M. Sc
MIEMBRO



Ing. Carlos R. Delgado Villafuerte, Mg. C.A.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por bendecirnos siempre en todas las actividades realizadas durante el desarrollo de nuestra carrera profesional. A nuestras madres por ser pilares fundamentales para que ahora estemos culminando esta etapa de nuestras vidas, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos ha dado la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual forjamos nuestros conocimientos profesionales.

Los autores

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Mary Cornejo por ser mi mayor motivación e inspiración, además por todo el apoyo, cariño y ayuda incondicional en todo momento, brindándome los recursos necesarios, también a mis hermanas Vanessa y Josselyn Guerrero que han estado siempre presentes de una u otra manera.

A mi compañero de tesis Víctor Pisco que siempre me brindó su apoyo y confianza necesaria para realizar este trabajo juntos y alcanzar nuestra anhelada meta.

Nathaly M. Guerrero Cornejo

Dedico este trabajo a mi madre Bárbara Demera con todo mi amor por apoyarme para seguir adelante a pesar de cualquier circunstancia, a mis hermanas María Estrada y Ana Pisco quienes con esfuerzo y apoyo siempre me alentaron a seguir adelante y no desfallecer, a mis sobrinas que de una u otra forma siempre fueron mi inspiración.

A mi compañera de tesis Nathaly Guerrero de la cual recibí un apoyo fundamental para salir de toda adversidad que se nos presentó y así cumplir con nuestra meta y alcanzar un título universitario.

Este logro en gran parte fue conseguido gracias a todos ustedes por su apoyo.

Víctor G. Pisco Demera

CONTENIDO GENERAL

| | |
|--|------|
| DERECHOS DE AUDITORÍA..... | ii |
| CERTIFICACIÓN DE TUTOR | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL..... | iii |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| RESUMEN | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1. Planteamiento y formulación del problema | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| 1.3. Objetivos | 4 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 4 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.4. Hipótesis | 4 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1. Marco referencial | 5 |
| 2.1.1. Potencial solar | 5 |
| 2.2. Desalinización del agua de mar | 5 |
| 2.2.1. Procedimiento de muestreo..... | 5 |
| 2.2.2. Parámetros a medir en el agua de mar | 6 |
| 2.3. Métodos de desalinización de agua | 8 |
| 2.3.1. Desalinización mediante compresión de vapor | 9 |
| 2.3.2. Procedimiento térmico multi-efecto..... | 9 |
| 2.3.3. Procedimiento térmico multi-etapa | 10 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3.4. | Desalinización por congelación | 10 |
| 2.3.5. | Ósmosis inversa | 10 |
| 2.3.6. | Electrodiálisis..... | 10 |
| 2.3.7. | Otras tecnologías de desalinización | 11 |
| 2.4. | Destilador solar | 11 |
| 2.4.1. | Materiales de construcción | 12 |
| 2.4.2. | Tipos de destiladores..... | 12 |
| 2.4.3. | Condensación..... | 16 |
| 2.4.4. | Evaporación..... | 16 |
| 2.4.5. | Transferencia de calor y masa..... | 16 |
| 2.5. | Colector solar | 17 |
| 2.5.1. | Diseño de colector solar plano..... | 18 |
| 2.6. | Generalidades de la energía solar | 18 |
| 2.6.1. | Energía solar | 18 |
| 2.6.2. | Temperatura | 18 |
| 2.6.3. | Constante solar..... | 19 |
| 2.6.4. | Posición angular de la tierra | 19 |
| 2.6.5. | Radiación solar | 19 |
| 2.6.6. | Declinación solar | 19 |
| 2.6.7. | Ángulos solares | 20 |
| 2.6.8. | Reflexión..... | 20 |
| 2.6.9. | Refracción | 21 |
| 2.6.10. | Transferencia de calor | 21 |
| 2.7. | Prueba “t” student | 22 |
| 2.7.1. | Factores determinantes | 22 |
| 2.7.2. | Test t para muestras independientes..... | 22 |
| 2.8. | Modelos estadísticos..... | 22 |

| | |
|---|----|
| 2.8.1. Regresión lineal múltiple..... | 22 |
| 2.8.2. Correlación | 23 |
| 2.9. Eficiencia térmica de un destilador solar | 24 |
| CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO | 25 |
| 3.1. Ubicación | 25 |
| 3.2. Duración del trabajo | 25 |
| 3.3. Métodos | 26 |
| 3.4. Técnicas..... | 26 |
| 3.5. Variables en estudio..... | 26 |
| 3.5.1. Variable independiente | 26 |
| 3.5.2. Variable dependiente..... | 26 |
| 3.6. Procedimientos | 26 |
| 3.6.1. Primera fase: analisis de los datos climaticos de la zona de influencia | 26 |
| 3.6.2. Segunda fase: implementación de los sistemas de destilación solar convencional y adaptado | 28 |
| 3.6.3. Tercera fase: determinación de la eficiencia de un destilador adaptando colector y reflector solar..... | 30 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 32 |
| 4.1. Analisis de los datos climaticos de la zona de influencia..... | 32 |
| 4.1.1. Adquisición de datos climáticos | 32 |
| 4.1.2. Tabulación de gráfica de los datos climáticos obtenidos | 33 |
| 4.1.3. Caracterización del agua a destilarse..... | 37 |
| 4.2. Implementación de los sistemas de destilación solar convencional y adaptado..... | 38 |
| 4.2.1. Elección de materiales para la construcción de los destiladores, colector y reflector solar..... | 38 |

| | |
|---|----|
| 4.2.2. Diseño de construcción de los sistemas de destilación, colector y reflector solar..... | 40 |
| 4.2.3. Toma de datos de los procesos de destilación | 40 |
| 4.3. Determinación de la eficiencia de un destilador adaptando colector y reflector solar..... | 43 |
| 4.3.1. Elaboración de los análisis post-destilación..... | 43 |
| 4.3.2. Aplicación de prueba t en los sistemas de destilación | 44 |
| 4.3.3. Determinación de la eficiencia | 45 |
| 4.3.4. Elaboración de regresión lineal múltiple para estimar el volumen de agua destilada y correlacionar la eficiencia de los dos sistemas de destilación..... | 47 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 55 |
| 5.1. Conclusiones | 55 |
| 5.2. Recomendaciones | 56 |
| BIBLIOGRAFÍA | 57 |
| ANEXOS | 70 |

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 3.1. Materiales de construcción para destilador solar, colector solar y reflector solar... | 28 |
| Cuadro 3.2. Parámetros de diseño para la construcción del destilador solar, colector solar y reflector solar..... | 29 |
| Cuadro 4.3. Promedios anuales de los datos recopilados en la estación meteorológica PUCE-Bahía en los años 2011-2018 | 32 |
| Cuadro 4.4. Resultados de los análisis pre-destilación | 38 |
| Cuadro 4.5. Características de los materiales utilizados en la construcción de los destiladores solares, colector y reflector solar. | 39 |
| Cuadro 4.6. Promedios diarios de temperatura de los sistemas de destilación y volumen de agua destilada en ambos procesos. | 41 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 4.7. Volumen de agua destilada de los sistemas de destilación | 42 |
| Cuadro 4.8. Resultado de análisis Post-destilación de los dos sistemas implementados. | 43 |
| Cuadro 4.9. Resultados de prueba t para muestras independientes de los dos sistemas de destilación implementados..... | 44 |
| Cuadro 4.10. Eficiencia del destilador con adaptaciones en función de volumen de agua destilada..... | 46 |

FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Dimensiones del destilador solar tipo caseta (Intriago & Zambrano, 2017) | 14 |
| Figura 3.2. Ubicación de la implementación de los destiladores | 25 |

GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 4.1. Temperaturas mínimas de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018..... | 34 |
| Gráfico 4.2. Temperaturas máximas de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018 | 34 |
| Gráfico 4.3. Precipitación de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018 | 35 |
| Gráfico 4.4. Heliofanía de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018..... | 36 |
| Gráfico 4.5. Declinación solar mensual de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018..... | 36 |
| Gráfico 4.6. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura ambiente..... | 48 |
| Gráfico 4.7. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura interna del destilador convencional | 48 |
| Gráfico 4.8. Regresión lineal de la temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador convencional. | 49 |
| Gráfico 4.9. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura ambiente con respecto al destilador con adaptaciones..... | 50 |
| Gráfico 4.10. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura interna del destilador con adaptaciones..... | 51 |
| Gráfico 4.11. Regresión lineal de temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador con adaptaciones. | 52 |
| Gráfico 4.12. Correlación del volumen del destilador con adaptaciones vs la eficiencia del destilador adaptado en base a destilador convencional | 53 |

RESUMEN

El estudio tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de un destilador solar, adaptándole colector y reflector solar para la destilación de agua salina. Estos destiladores se implementaron en la ciudad de Bahía de Caráquez en el barrio la Acuarela 2, teniendo en cuenta que la radiación solar tiene una mayor incidencia en las zonas costeras del Ecuador. Se analizó los datos climáticos de la estación meteorológica PUCE-Bahía, zona donde se implementó los sistemas de destilación; los datos climáticos analizados fueron: temperatura, heliofanía, precipitación y declinación solar, además se realizaron análisis pre y post destilación para ser comparados con la legislación del Libro 1 del TULSMA. Así mismo, se efectuó la elección y diseño de los destiladores solares, colector y reflector solar, el material más utilizado fue el vidrio por su funcionalidad y economía. Por otro lado, se realizó un monitoreo por 30 días del proceso de destilación para posteriormente realizar la tabulación a través del programa Excel 2013, en donde se tomó en consideración las temperaturas ambientes, temperaturas internas de los dos destiladores, también el volumen de agua destilada diaria. Finalmente, se pudo determinar que los procesos de destilación sirven para reducir: la carga fecal, sólidos totales disueltos, pH entre otros, permitiendo que se encuentren dentro de límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, también se potenció con una eficiencia promedio del 25 % del destilador adaptado en base a destilador convencional.

PALABRAS CLAVES

Destilador solar, colector solar, reflector solar

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the efficiency of a solar still, adapting a solar collector and reflector for the distillation of saline water. These distillers were implemented in Bahía de Caráquez city in La Acuarela 2 neighborhood, taking into account that solar radiation has a higher incidence in the coastal areas of Ecuador. The climatic data of the PUCE-Bahía meteorological station, area where the distillation systems were implemented, were analyzed; the climatic data analyzed were: temperature, heliophany, precipitation and solar declination, as well as pre and post distillation analyzes to be compared with the legislature of Book 1 of the TULSMA. Likewise, the choice and design of the solar stills, collector and solar reflector was made, the most used material was glass for its functionality and economy. On the other hand, a 30-day monitoring of the distillation process was carried out to subsequently carry out the tabulation through the Excel 2013 program, where the ambient temperatures, internal temperatures of the two stills were taken into account, as well as the volume of distilled water daily. Finally, it was possible to determine that the distillation processes serve to reduce: the fecal load, total dissolved solids, pH, among others, allowing them to be within the maximum permissible limits for waters for human consumption and domestic use, also boosted with efficiency 25% average of the distiller adapted based on a conventional distiller.

KEY WORDS

Solar distiller, solar collector, solar reflector.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El planeta cuenta con el 70 % de la superficie cubierta de agua, la cual se encuentra en océanos, lagos, ríos, aire y el suelo. Por lo tanto, esto es favorable para el clima ya que lo equilibra, además tiene propiedades de las cuales la hacen única y esencial para la vida (Fernández, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017) afirma que están reduciendo de manera impresionante los recursos existentes de agua dulce. A pesar de ello, hoy en día la progresiva carencia de agua es uno de los desafíos primordiales para el desarrollo sostenible. Por lo tanto, logra ser de mayor importancia debido a la creciente población mundial por lo que se la considera como una lucha constante.

Sin embargo Delgado (2017) manifiesta que aún existe escasez de agua potable en poblaciones del Ecuador, principalmente en el cantón Sucre, parroquia Leónidas Plaza, provincia de Manabí, los problemas asociados al poco abastecimiento del agua ocasiona que las familias que no cuentan con cisternas, no logren almacenar agua al momento que no hay suministro de este recurso por lo que pasan por situaciones desagradables. Por ello se requieren de tanqueros para subsistir a las comunidades de la zona y así obtener el líquido vital, sin embargo en muchas ocasiones existen factores, debido al costo del transportador del tanquero, además se pone en riesgo el bienestar humano como consecuencia de la mala calidad del agua lo que desencadena un sinnúmero de enfermedades.

Ríos *et al.*, (2017) deduce que las enfermedades gastrointestinales se dan por la proliferación de patógenos en el tracto gastrointestinal entre las cuales están: del grupo de enterobacterias se encuentran géneros como *Shigella* y *Salmonella*,

causantes de disentería bacilar; *Salmonella typhimurium* y *Salmonella typhi* productoras de gastroenteritis y fiebre tifoidea, respectivamente como consecuencia de la distribución del agua. Por lo tanto, implementar tecnologías que sean económicamente viables es necesario y eficiente para obtener agua limpia y segura.

Sabando (2017) indica que los destiladores solares hacen uso de la radiación solar para producir agua potable de calidad, ya que tienen una excelente tecnología por lo que cumplen con los requisitos, además a través de agua de mar o asimismo puede utilizarse para obtener agua dulce de otras fuentes de agua contaminada o salobre. Sin embargo, no son suficientes para abastecer a una familia con la implementación de destiladores solares convencionales dichas tecnologías por lo que siguen dependiendo de tanqueros debido a las necesidades según (Romero, 2013). Por lo anteriormente expuesto se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál será la eficiencia de un destilador convencional adaptando colector y reflector solar?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Nandwani (2013) afirma que a lo largo de los años la destilación solar de agua de mar no es un proceso nuevo, además han sido desarrolladas nuevas tecnologías para darle mayor eficiencia a este tratamiento, es importante hacer énfasis desde el punto de vista social la necesidad de irrumpir en tecnologías que utilicen energías renovables, por lo tanto, hoy en día para la sostenibilidad de las naciones y del planeta es un aspecto vital.

En Ecuador existen grandes iniciativas de proyectos de energías por lo que se lo considera un país que está en desarrollo, dentro de las intenciones que utilizan encontramos los de la energía renovable como: energía eólica, plantas hidroeléctricas, entre otros, además también la utilización de la energía solar

implementados destiladores solares con el fin de acelerar el proceso de potabilizar agua de mar en zonas costeras.

El agua potable hace necesario que ninguna persona carezca del líquido vital para sus necesidades básicas por lo que es un punto importante en el país, sin embargo la realidad es otra, existen muchas zonas que carecen de este servicio básico un caso claro de esto es en la provincia de Manabí del Cantón Sucre, en la parroquia Leónidas Plaza, barrio “La Acuarela 2”, lugar donde se realizó el presente proyecto, en el cual un porcentaje de la población es más vulnerables y necesitan de proyectos que permitan un desarrollo apto y sostenible.

Teniendo en cuenta la Constitución, en el artículo 66 en el apartado 2, establece “El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios”. Por lo tanto, es evidente que debe ser prioridad el recurso sobre cualquier otro uso para el consumo humano que en las políticas administrativas del país se deja claro.

Intriago & Zambrano (2017) mencionan que al día produce 3.9 litros con una temperatura de 30 °C un destilador solar convencional, llegando a una eficiencia diaria del 13 %, donde Hermosillo (1995) afirma que estos tipos de destiladores suelen producir alrededor de 3 a 5 litros/m²/diarios con temperaturas entre los 26 °C hasta los 30 °C, pero cabe recalcar que su eficiencia no es suficiente para el abastecimiento de una familia promedio, donde el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2018) menciona que una familia promedio está integrada por 4 personas. Sin embargo, (Badran & Tahaineh, 2005) en una investigación realizada por la Facultad de Ingeniería Tecnológica, a través de un estudio de factibilidad de aplicación de un destilador solar añadiendo un colector solar, se obtuvo una eficiencia del 36 %, obteniendo diariamente 3,5 litros/m²/diarios de agua destilada con temperaturas entre 28 °C a 30 °C.

Es factible un destilador solar debido a los diferentes beneficios que contiene al utilizarse, dentro de los cuales encontramos que es amigable con el medio ambiente siendo un proceso de obtención de agua apta para consumo humano además de ser de bajo costo de implementación y mantenimiento.

Por lo tanto se vio la necesidad de realizar el presente proyecto con el fin de adaptar otras tecnologías como los colectores solares y la utilización de espejos para la reflexión del sol, donde se deseó potenciar la eficiencia del destilador y así generar una herramienta asequible, limpia y segura a la solución de problemáticas para el consumo y suministro de agua potable, teniendo en cuenta las condiciones geográficas en las que se encuentra la Ciudad de Bahía de Caráquez, es decir su cercanía al mar para la extracción del agua a destilarse, como también su permanente radiación solar, son condiciones favorables para la ejecución del proyecto.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de un destilador solar, adaptando colector y reflector solar.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Analizar los datos climáticos de la zona de influencia.
- b) Implementar sistemas de destilación solar convencional y adaptado.
- c) Determinar la eficiencia de un destilador adaptando colector y reflector solar.

1.4. HIPÓTESIS

La adaptación de colector y reflector solar potenciará la eficiencia del destilador adaptado en base a destilador convencional.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. POTENCIAL SOLAR

Se refiere a fijar la cantidad de energía y el número de horas Sol que está irradiando en una determinada zona. El potencial solar no solo varía diariamente sino también a lo largo de un año (Grauthoff *et al.*, 2012).

2.2. DESALINIZACIÓN DEL AGUA DE MAR

La desalinización es una de las primeras formas de purificación del agua ya que ha sido desarrollada por la humanidad, además Qiblawey & Banat (2008) mencionan que por el mar se da la desalinización ya que esta absorbe la radiación solar, por lo tanto, esto se lo considera como un proceso natural en el que ocasiona que el agua se evapore, induciendo tiempo después una lluvia. Sin embargo, se eleva sobre la superficie el agua evaporada, donde es desplazada por el viento, una vez que se enfría a su punto de rocío el vapor, sucede la condensación y como lluvia o nieve el agua dulce precipita.

Para Medina (2000) obtener el agua apropiada para el consumo humano esta debe realizarse la disociación de sales disueltas de aguas de mar, la desalinización consiste en convertirla en agua apropiada para consumo humano.

2.2.1. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Según la Secretaría de Salud (2004) señala que para la toma de muestra de agua de mar en su lineamiento deben desempeñar las siguientes consideraciones:

- a. En zonas de oleaje tranquilo:** Cuando la profundidad del agua llegue a 1,0 metros es donde se debe tomar la muestra, además la superficie bajo el agua debe ser a 30 centímetros con contracorriente del flujo entrante.

- b. En zonas de playa con rompiente cercana a la orilla:** Deberá pasar el arrecife a una profundidad del agua de 1-1,15 metros para la toma de muestra en este caso. Por lo tanto, deberá colocarse a contracorriente del flujo entrante la persona que tome la muestra de agua a 30 centímetros bajo la superficie del agua, llenar el recipiente procurando que contenga un mínimo de arena.

Para el tipo de recipiente se describen las siguientes pautas:

- a. Frasco de vidrio:** El frasco con la boca hacia abajo se debe introducir hasta la profundidad seleccionada al tipo de playa, además quitar el tapón e invertir el frasco que quede 1/3 para llenarlo hasta del volumen libre, sacar el frasco del agua de mar y poner el tapón.
- b. Bolsa de plástico:** Introducir la bolsa de plástico cerrada a la profundidad deseada, la cual deberá quedaren sentido contrario al flujo de la corriente, una vez que esté llena hasta el 80-90 % de su volumen se cierra, se saca la bolsa del agua de mar.

2.2.2. PARÁMETROS A MEDIR EN EL AGUA DE MAR

Se efectúan parámetros tanto físicos, químicos y microbiológicos en el agua de mar ya que son de manera directa e indirecta de la salinidad, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

2.2.2.1. PARÁMETROS FISICOQUIMICAS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LA SALINIDAD

A. TEMPERATURA

La temperatura es una medida del grado de un cuerpo, se expresa en grado centígrado (°C) o sea en grados Kelvin (K) y se mide con un termómetro de mercurio o digital. Por debajo de los 25 °C por encima de los 50°C el agua debe mantener, en ese rango existe un riesgo muy alto de proliferación de bacterias en especial *Legionella spp* (Gómez, 2018).

B. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Son elementos orgánicos e inorgánicos solubles en agua los sólidos disueltos totales, es la suma de los minerales, metales, sales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea la molécula de agua pura y sólidos en suspensión (Gómez, 2018).

C. pH

El pH indica el grado de acidez de una solución y sus valores están comprendidos en una escala del 0 al 14, siendo el valor medio 7. Es decir, este valor corresponde a tener una solución neutra, mientras que los valores que estén por debajo de 7 indican soluciones ácidas y valores por encima indican soluciones básicas o alcalinas. Además, este parámetro es importante para comprobar la eficacia del tratamiento de agua y puede influir en los procesos de tratamiento del agua como la desinfección (Barrenchea, 2005).

D. SULFATOS

Los sulfatos son muy abundantes en la naturaleza y su presencia en el agua varía en algunas centenas de milímetros por litro. Este parámetro contribuye a la salinidad del agua, los sulfatos en los procesos de desalinización de agua de mar por ósmosis inversa pueden llegar a formar precipitados de calcio y magnesio sobre las membranas (Bolaños *et al.*, 2017).

E. NITRATOS

Son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. Los nitratos en el proceso de desalinización no son eliminados a la hora de la evaporación, en este caso se debe recurrir a la separación por membranas para poder ser eliminados (Bolaños *et al.*, 2017).

2.2.2.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.

La calidad bacteriológica de los cuerpos de agua de mar se debe determinar, debido a que estos almacenan y agrupan microorganismos patógenos del medio

ambiente, lo que ocasiona enfermedades como fiebre tifoidea, paratifoidea, cólera, padecimientos gastrointestinales (Orózco *et al.*, 1994).

Con respecto a la calidad microbiana de agua de mar los parámetros que más se realizan análisis son los coliformes fecales y coliformes totales.

A. COLIFORMES FECALES

Esta no incluye una especie determinada, pero está constituido por bacterias Gram-negativas, sin embargo, la más prominente es *Escherichia coli* (Camacho *et al.*, 2009)

B. COLIFORMES TOTALES

Comprende todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios facultativos el grupo de bacterias de coliformes totales, por lo que está conformado por 4 géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella* (Camacho *et al.*, 2009).

2.3. MÉTODOS DE DESALINIZACIÓN DE AGUA

Lamela (2006) indica que el agua potable extraída del mar se logra obtener por varios métodos además de la desalinización, por lo que están en competencia entre sí, y lógicamente, en las mismas dimensiones no todos ellos son utilizados, pero como objetivo principal todas ellas tienen que reducir la concentración de sales que se encuentran disueltas en el mar.

Para Zarza (2005) existen diversos criterios para clasificar los diferentes procesos de desalinización que existen actualmente. Estos métodos son la comprensión de vapor, térmico multi-efecto, térmico multi-etapa, congelación, Osmosis inversa, electrodiálisis y otras tecnologías de desalinización.

2.3.1. DESALINIZACIÓN MEDIANTE COMPRESIÓN DE VAPOR

Ophir & Gendel (2007) menciona que el ciclo natural del agua imita el proceso que calentando el agua a desalar hasta producir un vapor donde después condensado pasa a formar el agua producto.

Está compuesto este proceso principalmente por los siguientes elementos:

- a. Intercambio de calor
- b. Compresor de vapor
- c. Cámara de evaporación- condensación
- d. Bomba de recirculación de salmuera

Hamed *et al.*, (1996) señalan que este proceso conlleva a evaporar el agua de mar donde después se pasa por un compresor, en el cual la temperatura de condensación aumenta; posteriormente, pasa por un intercambiador de calor en el cual se enfría con el agua de entrada a evaporar. (Cipollina, 2007) indica que es necesaria la energía en este proceso la cual requiere el compresor, sin embargo, la presión del lado del agua salada aumenta para así bajar su temperatura de ebullición.

2.3.2. PROCEDIMIENTO TÉRMICO MULTI-EFECTO

Mediante diferentes evaporadores este procedimiento consiste en realizar la desalinización, denominados efectos colados en serie, de manera que el vapor de cada efecto se utiliza para evaporar el agua siguiente (Ophir & Lokiek, 2005).

En este proceso la presión se reduce en la que la temperatura comprime cada efecto a medida que esta proporciona más calor, en cada etapa para poder lograr mejorar el desempeño del proceso, además cubren grandes superficies este tipo de instalaciones (WHO, 2007).

2.3.3. PROCEDIMIENTO TÉRMICO MULTI-ETAPA

La desalinización consiste en realizar el proceso térmico multi-etapa mediante el calentamiento del agua de mar en un recipiente a baja presión en el cual se produce una evaporación inesperada. En una disminución de la presión de agua de mar el procedimiento está basado por debajo de la saturación de la presión con lo cual se produce dicha evaporación a esa temperatura (Raluy *et al.*, 2006).

2.3.4. DESALINIZACIÓN POR CONGELACIÓN

Este proceso es un fenómeno natural que se da en la naturaleza, pero que no se ha logrado efectuar a nivel industrial debido a la falta de desarrollo de los intercambiadores de frío (Khawaji *et al.*, 2008).

La congelación del agua de mar consiste en el proceso y después la almacenada de los cristales de agua pura. Los cristales pasan a una fase de tamizado y lavado para eliminar las sales adjuntas y posteriormente se funden para obtener el agua dulce (Ffujjoka *et al.*, 2013).

2.3.5. OSMOSIS INVERSA

Este proceso aplica presión para superar la presión osmótica del agua a tratar, es el método más sencillo para desalar y el que parece acercarse a los mejores rendimientos energéticos a través de una membrana semi-permeable en el cual se fuerza al agua a pasar, ya que las sales disueltas u otros contaminantes a una solución menos concentrada o desde una solución más concentrada, mediante la aplicación de presión (Arreguín, 2000). El objetivo de la Osmosis Inversa es alcanzar agua purificada partiendo de un caudal de agua con gran cantidad de sales como puede ser el agua de mar (Zornoza, 2015).

2.3.6. ELECTRODIÁLISIS

Enriquez & Ruiz (2013) indican que el proceso de electrodiálisis es un procedimiento mediante el cual se pueden extraer los iones disueltos en agua, haciéndola pasar por una serie de membranas ion-selectivas, con ayuda de energía eléctrica. (López, 2005) señala que la electrodiálisis en particular

combina ventajas de selectividad y baja demanda de reactivos, incluso menor que la osmosis inversa, la recuperación de agua es mayor.

2.3.7. OTRAS TECNOLOGÍAS DE DESALINIZACIÓN

Otras tecnologías para la desalinización del agua de mar y que son menos desarrolladas industrialmente, son las siguientes:

A. Proceso de desalinización solar: Se dividen en dos tipos, los cuales son: el método directo y el método indirecto. En el primero, la energía solar provoca directamente el destilado en los colectores solares, mientras que, en el método indirecto, se emplean dos subsistemas, uno como colector solar y el otro como unidad de desalación (Cabero, 2015). Además, en este proceso de desalinización se trata de aprovechar el efecto de calentamiento de la radiación solar para ocasionar vapor en un estanque con cubierta transparente (Blanco, 1997).

B. Formación de hidratos: Es un método de desalinización basado en el principio de cristalización que consiste en añadir hidrocarburos al agua de mar que se quiere desalar para conseguir unos hidratos complejos en forma cristalina. En el proceso de congelación ocurre algo similar en el rendimiento energético donde es superior a los procesos de destilación, aunque tiene que separar y lavar cristales ya que sería el único problema. (Cabero, 2015).

C. Intercambio iónico: En ciertas propiedades de sustancias sólidas insolubles está basado este proceso, de intercambio iónico llamadas resinas, que cuando se ponen en contacto con una sal disuelta son capaces de intercambiar aniones o cationes (Arreguín, 2000).

2.4. DESTILADOR SOLAR

Los destiladores solares son aparatos sumamente sencillos, que aprovechan la radiación solar para producir agua potable a partir de agua de mar. Así mismo pueden emplearse para obtener agua dulce de otras fuentes de agua

contaminada o salobre, eliminando sales, bacterias, microorganismos, metales pesados e impurezas Shyam & Nandwani (2014). Su principio de funcionamiento reside en emplear el calor del sol para calentar una cierta cantidad de agua, al aumentar su temperatura sobre la temperatura ambiental, humedece el aire sobre su superficie. Sin embargo, una lámina de material transparente se llegará a colocar sobre la superficie del agua a unos centímetros se depositará sobre dicha lámina la humedad que estará a una temperatura cercana a la temperatura ambiental y se acumulará gradualmente hasta producir una cantidad útil de agua potable (Chargoy & Fernández, 2018).

2.4.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Sabando (2017) manifiesta que existen muchos materiales los cuales pueden ser empleados al momento de la construcción de un destilador solar, pero los mismos se van seleccionando dependiendo las características que este requiera posteriormente. Por otro lado, (Rojas, 2015) señala que para la construcción de un destilador solar se deben tener en cuenta muchos factores los cuales influyen directamente al momento de la implementación de un sistema de destilación, dichos factores son: recursos tecnológicos y económicos, además de la función a la que estará sujeto cada material y de las propiedades termo físicas de los mismos.

Entre los principales materiales que Rojas (2015) menciona tenemos:

- a. Lamina de hierro
- b. Fibra de vidrio
- c. Vidrio
- d. madera
- e. Material aislante (Espuma Flex)

2.4.2. TIPOS DE DESTILADORES

Se destacan diversos prototipos de destiladores solares, dentro de ellos encontramos los que más se utilizan, sencillos y económicos como el efecto

invernadero por ser este uno de los procedimientos con más obtención de agua destilada (Fonseca *et al.*, 2005). Cabe resaltar que el objetivo principal de todos los destiladores es obtener un agua limpia y de consumo humano sea de cualquier tipo.

2.4.2.1. DESTILADOR TIPO CASETA

Este tipo de destilador según Hermosillo (1995) es el más sencillo de construir y operar, en particular este destilador es el más propicio para suministrar pequeños volúmenes de agua destilada, por ejemplo, a escala familiar. Por otro lado, Muñoz *et al.*, (2010) señalan que la productividad diaria de estos destiladores no supera los 3 l/m², incluso en áreas donde los niveles de radiación solar son relativamente altos.

Delyannis (2003) indica que este modelo fue patentado en 1870 por Weeler y Evans, así mismo que el destilador está compuesto por una cubierta transparente inclinada, dividida en dos compartimientos, uno con el fondo de color negro donde se coloca el agua a evaporar y el otro el colector donde se almacena el agua destilada y se encuentra en el lado de menor altura. Además, menciona que posee una cubierta cuadrangular transparente de vidrio, donde sus dimensiones son variadas siendo de un grosor de entre 3 y 5 mm, con una inclinación de 15° a 30° con respecto a las paredes del destilador.

El diseño de un destilador solar tiene como principal objetivo que se aproveche el sistema de la mejor forma posible. De acuerdo al estudio realizado por Intriago & Zambrano (2017) en donde la investigación se basa en la repotenciación de un destilador convencional de este tipo en el cual la eficiencia promedio fue de 9,57 %, en el mismo se establecieron las siguientes medidas:

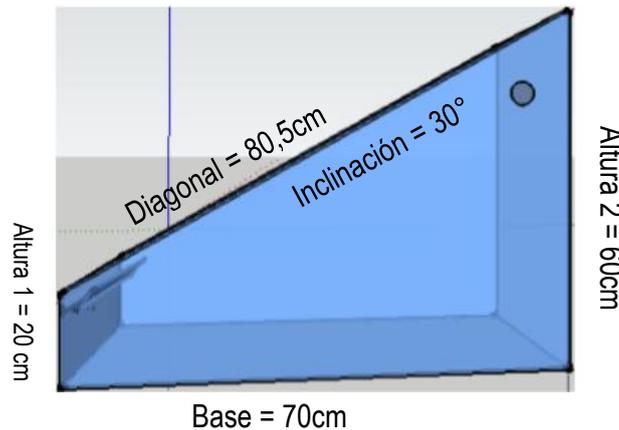


Figura 2.1. Dimensiones del destilador solar tipo caseta (Intriago & Zambrano, 2017)

Se toma en cuenta dichas medidas porque Herмосillo (1995) manifiesta que para el proceso de evaporación conviene que el evaporador tenga un área mayor en la relación con el volumen de destilando que puede contener, es por ello que las medidas de la bandeja que contiene el agua a ser evaporada están 2 cm por debajo de las dimensiones del destilador.

Arévalo (2014) señala que para que la condensación sea óptima se requiere que la altura entre la base y la cubierta no sea tan distantes para que el proceso se lleve a cabo de forma más rápida y el vapor de esta manera llegue a la zona de condensación, también indica que la inclinación del mismo este dada entre 20° a 30° , esto se debe que si el ángulo de inclinación no es el mejor el agua destilada que reposa en el condensador corre riesgo de caer y fusionarse con el destilando, y esto a su vez resultaría negativo para el sistema.

Cabe recalcar que a la hora del diseño es importante efectuar un balance de materia y energía en las partes principales del destilador, tales como: cubierta, agua, colector, ya que a través del mismo se lograra determinar las pérdidas de calor que se dan en general en el sistema de destilación.

2.4.2.2. DESTILADOR DE TIPO ESCALERA

Como su propio nombre lo indica este destilador consiste en varias charolas a diferentes niveles unidas por paneles verticales, que en conjunto forman una escalera, se debe agregar también que este destilador fue diseñado como

alternativa para el destilador tipo caseta, tratando de superar su productividad y su eficiencia térmica (Padilla , 1983).

En cuanto a la calidad del destilador de escalera Astudillo (2014) indica que puede construirse de forma que contenga menos aire en su interior, comparado con el destilador tipo caseta, además se los conoce como tipo cascada en donde forma como terrazas, la cuales tendrán en la parte superior de cada una la disposición de unos estanques con fondo color negro llenos de agua para destilar y así cuando la radiación solar incide en el destilador empieza la evaporación.

2.4.2.3. DESTILADOR DE MULTIPLE EFECTO

En este tipo de destiladores consiste en tener varias charolas, cada una a diferentes temperaturas, de tal forma que el calor fluya del colector a la charola más caliente y ahí produce el efecto de evaporación deseado. Además, la eficiencia y productividades logradas con este tipo de destilador solar son mucho mayores que las que se logran en el destilador tipo caseta, pero en cambio tienen el aspecto relativamente complejo de alimentar y mantener el nivel de varios evaporadores (Hermosillo, 1995).

2.4.2.4. DESTILADOR SOLAR ESFÉRICO

Este destilador consiste en un domo esférico o semiesférico, generalmente de material acrílico, que tiene en su parte superior un motor eléctrico pequeño que hace girar continua o intermitentemente un elemento limpiador parecido a los que se utilizan en los parabrisas de los automóviles. Este aditamento permite forzar el escurrimiento de las gotitas de condensado y por ello tener una mejor colección de energía solar (Barrera *et al.*, 1987).

Astudillo (2014) indica que la particularidad de este destilador se basa en la forma esférica del material transparente ya que logra mantener la inercia térmica facilitando así mayor aprovechamiento del calor producido por la energía solar.

2.4.2.5. DESTILADOR SOLAR TIPO INVERNADERO

En este destilador sus estructuras tratan de que en su interior alberguen un estanque de agua de poca profundidad y con el fondo de color negro, para así captar la radiación solar con más efectividad y rapidez. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se desliza hacia las canaletas situadas en la base de las paredes (Astudillo, 2014).

2.4.3. CONDENSACIÓN

Un vapor se reduce por debajo de la temperatura por la saturación de la misma es por esto que se presenta la condensación. Sin embargo, si el vapor es puro, corresponde a la presión total de la temperatura de saturación; aunque la temperatura de saturación corresponderá a la presión parcial del vapor si se trata de una mezcla no condensable de vapor y gas. Durante el proceso de condensación se desprende energía equivalente al calor latente de vaporización (Fernandez, 2014).

2.4.4. EVAPORACIÓN

Se define evaporación como el fenómeno consistente en el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible, también se requiere que la humedad de la atmosfera sea menor que la superficie de evaporación. El paso del agua del estado sólido al gaseoso se define sublimación, y corresponde al caso del paso del agua en fase nivel a gas por calentamiento de las superficies por radiación solar (Ordoñez, 2011).

2.4.5. TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA

Cooper (1972) señala que en los destiladores solares el proceso de transferencia de calor y masa es sumamente complejo, a continuación, se detallan los términos más relevantes que intervienen en el proceso de transferencia:

Gs: La radiación directa del destilador solar tiene que aprovechar, y para poder llevar a cabo difusa el proceso térmico de transferencia de masa y calor.

Grv: La radiación al llegar al vidrio sufre reflexión, absorción y transmitancia por lo tanto la radiación que entra al destilador es $G_s(1-\alpha_g)$ donde α_g , es un factor que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio.

Grw, Grf: La radiación que ingresa al destilador choca contra la superficie del agua, parte es reflejada y parte es absorbida y la mayoría llega al fondo de la charola en la cual parte de la radiación es nuevamente reflejada y la mayor parte es absorbida.

$$G_s(1-\alpha_g)(1-\alpha_a) \quad [2.1]$$

2.5. COLECTOR SOLAR

Es un instrumento que absorbe el calor proporcionado por el Sol con un mínimo de pérdidas y los transmite a un fluido, ya sea aire o más frecuentemente, agua. Generalmente se emplean para producir agua caliente de uso doméstico o para hacer funcionar sistemas de calefacción (Placco *et al.*, 2008).

Existen dos tipos de colectores:

- a. **Colectores Planos:** Son actualmente los más difundidos y representan alrededor del 90 % de producción de colectores. Se componen esquemáticamente de una lámina plana, o placa, capaz de absorber eficientemente la radiación solar y convertirla en calor, y de una serie de tubos en buen contacto térmico con la placa, por lo que circula un líquido refrigerante, generalmente agua o agua con anticongelantes. Este líquido que circula por los canales de distribución sirve para transmitir el calor absorbido por la placa un sistema de producción de agua caliente o una cisterna de calefacción (Mesa, 2012).
- b. **Colectores de concentración:** Se utilizan para instalaciones que trabajan a media temperatura, estos colectores concentran la radiación

solar que recibe la superficie captadora en un elemento receptor de superficie muy reducida. Al ser receptor más pequeño que en los colectores planos puede estar fabricado a partir de materiales más sofisticados que permiten una mejor absorción de la energía solar; Por otro lado, estos colectores son capaces de proporcionar temperaturas de hasta 300 °C con buenos rendimientos (Paredes, 2012).

2.5.1. DISEÑO DE COLECTOR SOLAR PLANO

Guevara (2003) manifiesta que las medidas optimas para la mejor eficiencia del colector solar son las siguientes:

- ❖ Área: 0,49 m²
- ❖ Ancho: 0,70 m
- ❖ Largo: 0,70 m
- ❖ Alto: 0,07 m
- ❖ Cubierta del colector: Vidrio.

2.6. GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR

2.6.1. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la energía que se obtiene mediante la captura de la luz y el calor que emite el sol, por medio de una variedad de sistemas receptores, convirtiéndola en energía útil Hermsillo (1995). Hay que mencionar, además que la energía fotovoltaica es la producida por la luz del sol, también la producida por el calor del sol llamada termosolar, estas energías se utilizan para la generación de electricidad o la producción de calor. Es inagotable y renovable, se obtiene por medio de paneles y espejos (Arancibia *et al.*, 2010).

2.6.2. TEMPERATURA

Picquart & Carrasco (2017) mencionan que la temperatura es una magnitud física de la materia que expresa cuantitativamente las nociones comunes de calor y frío, la cual mide el nivel térmico de un cuerpo. A su vez (Inzunza, 2006)

indica, que la física térmica es la disciplina que estudia la temperatura, siendo un estado relativo del ambiente; se mide con termómetros, los cuales, pueden ser calibrados respecto a diferentes escalas de temperaturas.

2.6.3. CONSTANTE SOLAR

Es el flujo de energía solar proveniente del sol, que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación solar, ubicada a la distancia media de la tierra al sol, fuera de toda la atmosfera (Aguirre, 2009).

2.6.4. POSICIÓN ANGULAR DE LA TIERRA

Aguirre (2009) señala que es un parámetro importante para analizar qué tan cerca o lejos se encuentra la tierra del sol la posición angular de la tierra.

2.6.5. RADIACIÓN SOLAR

Para Martínez (2016) la radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Cabe señalar que la energía de la radiación solar es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. Por lo cual (Renom, 2011) señala que la energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrogeno en el núcleo del sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.

2.6.6. DECLINACIÓN SOLAR

Es el ángulo formado por la línea de la tierra, sol, y el plano del Ecuador. El ángulo no va a ser constante y va a estar variando con el transcurso del año o época.

Con la ecuación de Cooper (1972) se puede calcular δ en forma mensual con el número de día del año.

$$\delta = 23,45 * \text{sen}\left(\frac{360*(284+n)}{365}\right) \quad [2.2]$$

Donde:

δ = Ángulo de declinación solar ($^{\circ}$)

n = Número del día del año

2.6.7. ANGULOS SOLARES

Hermosillo (1995) señala que cada día, el sol, para un observador situado en la Tierra, sigue una trayectoria circular a través del firmamento, alcanzando su punto más alto al mediodía. Por otra parte, hacia el punto más altos esta trayectoria circular y aparentemente se mueve en el firmamento a medida que el invierno transcurre y llega el verano.

De tres parámetros es el cálculo preciso para los ángulos solares depende básicamente de:

- a. La latitud del lugar (ϕ)
- b. La declinación (δ)
- c. El ángulo horario (ω)

Mediante el ángulo que determina el lugar de interés sobre la Tierra donde la latitud queda definida, con respecto al plano del Ecuador, es positivo cuando se mide hacia el norte del Ecuador este ángulo, y negativo cuando lo es hacia el sur de este. La posición angular del Sol al medio día solar así la define declinación, es decir, en el momento en que el Sol está más alto en el firmamento con respecto al plano del Ecuador (Hermosillo, 1995).

2.6.8. REFLEXIÓN

La reflexión es el cambio de dirección que experimenta la luz cuando transgrede en una superficie que separa dos medios, volviendo al mismo medio por donde viajaba (Tomé, 2019).

Para García (2017) en especular y difusa la reflexión se la puede clasificar; ya que cuando incide en una superficie lisa o pulida se obtiene un haz reflejado que también es paralelo lo cual nos indica que es especular, corrientemente por los espejos. Por lo tanto, el haz que incide es paralelo le la reflexión difusa, pero los rayos reflejados no lo son, esto sucede en superficies irregulares.

2.6.9. REFRACCIÓN

En el cambio de velocidad la refracción se origina dependiendo de la transmisión de la onda, por lo tanto, el índice de refracción es una medida que establece la reducción de la velocidad de la luz por un medio homogéneo (Cid, 2014).

Sirlin (2006) indica que el principio de Fermat es aquella que necesita menor tiempo cuando la luz viaja entre dos puntos cualquiera. Sin embargo, debido a que la distancia más corta entre dos puntos es una línea recta por la trayectoria de los rayos de luz que viajan en un medio homogéneo son líneas rectas como consecuencia natural de este principio. Además, Martínez (2015) señala que cuando la luz viaja desde el aire a otro material como vidrio, por ejemplo, la velocidad con la que atraviesa dicho material se reduce debido a las interacciones entre la luz y los átomos dentro del material. Como la luz se mueve más lenta en el vidrio que en el aire, los rayos de luz inciden en el vidrio se desvían ara tomar el menor tiempo posible en este medio y así cumplir con el principio de Fermat.

2.6.10. TRANSFERENCIA DE CALOR

Para Yunus (2010) la transferencia de calor es el intercambio de energía que puede tener un lugar entre cuerpos materiales como resultado de una diferencia de temperatura según la ciencia. Por otro lado, Holman (1998) señala la transferencia de calor pretende no solo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida en termodinámica, sino también adivinar la rapidez con la que baja ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia.

2.7. PRUEBA “t” STUDENT

Sánchez (2015) manifiesta que fue elaborada por William Sealy Gosset dicha prueba, por lo tanto, la misma es utilizada para crear entre dos medias las diferencias significativas. Sin embargo, esta prueba fue desplegada con el fin de analizar muestras independientes.

2.7.1. FACTORES DETERMINANTES

Para los factores determinantes en la consideración de diferencia significativa entre dos muestras (Sánchez, 2015) señala los siguientes factores:

- a. La probabilidad de existencia de diferencia significativa aumenta siempre y cuando la desigualdad sea grande entre las muestras.
- b. La muestra cuando es representativa las medias suele ser más constantes y la identificación de la diferencia entre las medias resulta más importante.

2.7.2. TEST t PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES

García (2011) señala que la t student para muestras independientes además se basa en la diferencia y comparación de los promedios entre dos poblaciones, los cuales son elegidos sin tener en cuenta uno para escoger el otro.

2.8. MODÉLOS ESTADÍSTICOS

2.8.1. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Thornley (1976) menciona que un modelo estadístico es la simplificación de un sistema real, generado para explicar, entender, estimar o predecir la realidad. Así también Montgomery (1991) indica que los modelos estadísticos son más concisos y menos ambiguos, el que permite describir situaciones más complejas, con menos esfuerzo, y con menos riesgo de confusión. El cual se utiliza para analizar datos que provienen de experimentos que no fueron diseñados o donde no se puede tener control sobre la variabilidad.

Las funciones de la regresión lineal múltiple son adecuadas para modelar una amplia variedad de relaciones entre variables respuesta y variables predichas. El coeficiente determinado (R^2) se usa para juzgar la adecuación del modelo de regresión lineal múltiple además se utiliza el coeficiente de colinealidad $C(p)$ (Montgomery, 1991).

Stedinger & Tasker (1985) señalan que los parámetros de ajuste de un modelo definido por un regresión lineal múltiple se estiman a través del método o técnica de mínimos cuadrados ordinarios, la cual acepta o asume que las varianzas de la variable dependiente (Y_j) son la misma para toda j , lo cual se conoce como condición de homocedasticidad. Lo anterior implica que todas las observaciones de Y sean “igualmente confiables”. (Kattegoda & Rosso, 2008) manifiestan que cuando la hipótesis de homocedasticidad no es satisfecha, los parámetros estimados no tienen varianza mínima y todas las estimaciones asociadas con la regresión lineal múltiple no son exactas.

2.8.2. CORRELACIÓN

Es el concepto de relación o correlación entre dos variables, se refiere al grado de parecido o variación conjunta existente entre las mismas (Escuela Superior de Informática, 2008).

Alquicira (2017) indica que la correlación consiste en un procedimiento estadístico para determinar si dos variables están relacionadas o no. El resultado del análisis es un coeficiente de correlación que puede tomar valores entre -1 y +1, en donde el signo indica que tipo de correlación entre las dos variables. El signo positivo indica que existe una relación positiva entre las dos variables; es decir, cuando la magnitud se incrementa, la otra también y el signo negativo indica que existe una relación negativa entre las dos variables. Mientras los valores de una se incrementan, los de la segunda variable disminuyen. Si dos variables son independientes, el coeficiente de correlación es magnitud cero. La fuerza de relación lineal incrementa a medida que el coeficiente de correlación se aproxima a -1 o a +1.

2.9. EFICIENCIA TÉRMICA DE UN DESTILADOR SOLAR

Hermosillo (1995) define la eficiencia térmica de un destilador como el cociente entre el calor necesario para evaporar el volumen de agua que se obtiene como destilado y el calor que se recibe de Sol, ambos tomados en un periodo de tiempo dado. Por otro lado, este concepto es útil para comparar el funcionamiento de dos destiladores diferentes o para saber qué tan efectiva una modificación que se haga.

Para determinar la eficiencia del destilador con adaptaciones en función de volumen de agua destilada de manera diaria se calcula a través de la fórmula establecida por La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2001) en su Manual de métodos de riego donde se reemplazó las variables teniendo la siguiente ecuación:

$$Eficiencia \% = \frac{VDA-VDC}{VDA} * 100 \quad [2.2]$$

Donde:

VDA= Volumen del destilador con adaptaciones

VDC= Volumen del destilador convencional

CAPITULO III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación se lo realizó en el Cantón Sucre, Ciudad Bahía de Caráquez en la Provincia de Manabí-Ecuador, específicamente en el barrio la Acuarela 2, para el desarrollo del mismo se tomaron las respectivas muestras de agua salina en la playa de la ciudad antes mencionada.

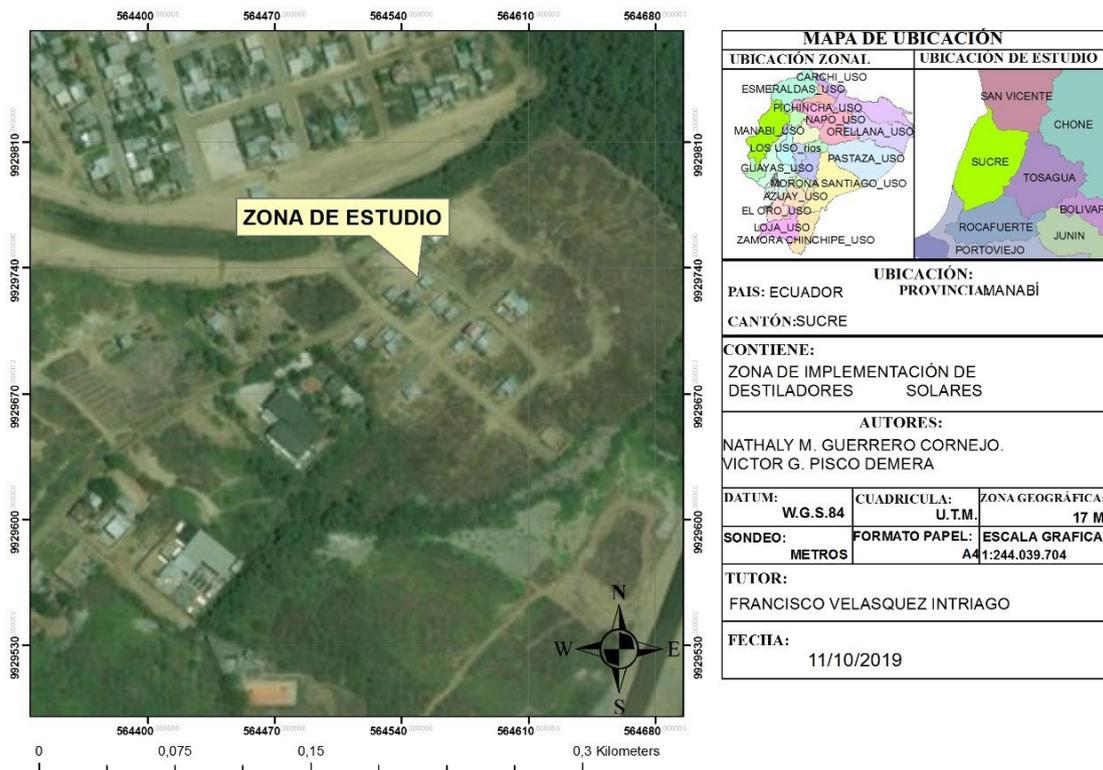


Figura 3.2. Ubicación de la implementación de los destiladores

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

Este trabajo de investigación tuvo una duración de nueve meses, tiempo en que se efectuaron cada una de las actividades para ver la eficiencia de un destilador solar, adaptando colector solar y reflector solar.

3.3. MÉTODOS

Los métodos que fueron empleados en el presente estudio fueron; bibliográfico a través del cual se logró recopilar de distintas fuentes y autores para tener fundamentos teóricos; cuantitativo el mismo que permitió analizar validar y sustentar criterios sobre todo los resultados de la investigación; descriptivo este fue empleado para medir la eficiencia del sistema de destilación con adaptaciones.

3.4. TÉCNICAS

Se utilizó la técnica de observación para verificar que la zona donde estuvieron ubicados los sistemas de destilación fueran los más aptos y de esta forma se pudiera tener un mejor aprovechamiento.

3.5. VARIABLES EN ESTUDIO

3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Adaptación del colector y reflector solar.

3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Eficiencia del destilador solar

3.6. PROCEDIMIENTOS

3.6.1. PRIMERA FASE: ANALISIS DE LOS DATOS CLIMATICOS DE LA ZONA DE INFLUENCIA

Para llevar a cabo esta fase se procedió a realizar las siguientes actividades.

ACTIVIDAD 1. ADQUISICIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

El método aplicado en esta actividad consistió en la adquisición de datos climáticos meteorológicos sobre el Cantón Sucre, Ciudad Bahía de Caráquez. Toda esa información fue obtenida de las mediciones de las variables

ambientales locales de la estación meteorología perteneciente a la PUCE-Bahía. La base de datos contuvo los datos de los años 2011 -2018.

La misma fue estudiada para obtener la base de datos de heliofanía, temperatura, precipitación y la declinación solar, de las cuales por medio el programa Excel versión 2013 se calculó los promedios de los parámetros antes mencionados.

ACTIVIDAD 2. TABULACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS CLIMÁTICOS OBTENIDOS

Mediante los datos adquiridos a través de la estación meteorológica PUCE-Bahía, se pudo tabular a través del Programa Excel versión 2013 y a la vez realizar las respectivas gráficas de heliofanía, temperatura máxima y mínima, precipitación y la declinación solar, la misma se calculó a través de la ecuación establecida por (Cooper, 1972).

ACTIVIDAD 3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA A DESTILARSE

Mediante la búsqueda de información y por medio de la misma se logró determinar los distintos parámetros para los análisis físicos químicos y microbiológicos del agua de mar, de esta manera fue posible conocer las concentraciones de los mismos. Dichos parámetros están reflejados en el marco teórico.

Una vez establecidos los parámetros se realizó la toma de muestra, la cual estuvo basada en el lineamiento establecido por la Secretaría de Salud (2004) cumpliendo todos los requisitos, teniendo en consideración que el lugar donde se tomó la muestra era una zona de oleaje tranquilo, el tipo de muestra fue compuesta.

Efectuada la toma de muestra, fue trasladada hacia el laboratorio de Ambiente de la ESPAM MFL donde se llevarán a cabo los análisis previamente determinados por parte de los autores.

- a. Temperatura
- b. Sólidos disueltos totales
- c. pH
- d. Olor
- e. Sabor
- f. Sulfatos
- g. Nitrato
- h. Coliformes Fecales
- i. Coliformes totales

3.6.2. SEGUNDA FASE: IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN SOLAR CONVENCIONAL Y ADAPTADO

ACTIVIDAD 4. ELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DESTILADORES, COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR

Por medio de la información recopilada en el marco teórico de acuerdo a Rojas (2015) se logró establecer cuáles fueron los materiales óptimos para la construcción de los sistemas de destilación solar al momento de su implementación, lo mismo que fue corroborado con lo manifestado por (Guevara, 2003).

A continuación, mediante el cuadro 3.1. se reflejan los materiales utilizados en la construcción de los destiladores solares, colector solar y reflector solar:

Cuadro 3.1. Materiales de construcción para destilador solar, colector solar y reflector solar.

| DESTILADOR SOLAR | COLECTOR SOLAR | REFLECTOR SOLAR |
|------------------|----------------|-----------------|
| Vidrio | Vidrio | Espejos |
| Espuma Flex | Mangueras | |
| Mangueras | Silicona | |
| Silicona | | |

ACTIVIDAD 5. DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN, COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR

Al momento de la construcción de los sistemas de destilación solar se tomó en cuenta las medidas establecidas por Intriago & Zambrano (2017) las cuales se encuentran señaladas en el marco teórico y para la inclinación de los sistemas de destilación se realizó de acuerdo a lo indicado por (Arévalo, 2014) escogiendo la inclinación entre los 20° a 30° para así tener un resultado satisfactorio.

Con respecto al colector solar se tomó en cuenta los parámetros de diseños establecidos por Guevara (2003) para así tener una eficiencia óptima a la hora de construir el colector. Por otra parte, para el aprovechamiento del sol se utilizaron espejos como reflector solar, los cuales tuvieron la función de reflejar los rayos solares dependiendo de la ubicación del sol con respecto a las horas.

A continuación en el cuadro 3.2. se refleja los parámetros de diseño para el destilador, el colector y reflector solar:

Cuadro 3.2. Parámetros de diseño para la construcción del destilador solar, colector solar y reflector solar.

Fuente: (Intriago & Zambrano, 2017); (Arévalo, 2014); (Guevara, 2003).

| Parámetro de diseño | | | | | | | |
|---------------------|--------|--------|----------------|--------|----------------|-----------------|--------|
| Destilador Solar | | | Colector solar | | | Reflector Solar | |
| | Medida | Unidad | | Medida | Unidad | Medida | Unidad |
| Diagonal | 80,5 | cm | Ancho | 0,70 | cm | Ancho 70 | cm |
| Altura 1 | 20 | cm | Largo | 0,70 | cm | Largo 60 | cm |
| Altura 2 | 60 | cm | Alto | 0,07 | cm | | |
| Base | 70 | cm | Área | 0,49 | m ² | | |
| Inclinación | 30 | ° | | | | | |

ACTIVIDAD 6. TOMA DE DATOS DE LOS PROCESOS DE DESTILACIÓN.

Una vez ya construidos los sistemas de destilación solar se realizó la toma de datos de los procesos, los cuales se efectuaron diariamente por un período de 30 días, en donde se tomó en cuenta el volumen del agua destilada, la temperatura ambiente y la temperatura interna de los destiladores. Además, a través del programa Excel versión 2013 se realizó las tabulaciones de los datos obtenidos en los 30 días de proceso de destilación.

3.6.3. TERCERA FASE: DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN DESTILADOR ADAPTANDO COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR

ACTIVIDAD 7. ELABORACIÓN DE LOS ANÁLISIS POST-DESTILACIÓN

Una vez transcurrido los 30 días de destilación, se realizaron los análisis post tratamiento para posteriormente ser comparados y analizados con los efectuados al inicio de la investigación, y así comparar con la tabla 1 del TULSMA la cual se refiere a los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

ACTIVIDAD 8. APLICACIÓN DE PRUEBA t EN LOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN

En la presente actividad se llevó a cabo la ejecución de la prueba t Student y la misma fue realizada en el software SPSS versión 25 del año 2017, para verificar si existió diferencia significativa entre los dos sistemas de destilación implementados.

ACTIVIDAD 9. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA

Para esta actividad se procedió a determinar la eficiencia del destilador adaptado en función del volumen de agua destilada de ambos sistemas de manera diaria, para el cálculo se tomó como referencia la ecuación de la eficiencia establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2001) en su Manual de métodos de riego en donde se reemplazó las variables teniendo la siguiente ecuación:

$$Eficiencia \% = \frac{VDA - VDC}{VDA} * 100$$

Donde:

VDA= Volumen del destilador con adaptaciones

VDC= Volumen del destilador convencional

ACTIVIDAD 10. ELABORACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE AGUA DESTILADA Y CORRELACIONAR LA EFICIENCIA DEL DESTILADOR CON ADAPTACIONES EN FUNCIÓN AL VOLUMEN DE AGUA DESTILADA

Como última actividad ya una vez obtenidos los datos de la tabulación se procedió a realizar la regresión lineal en el software Excel versión 2013, en el cual se utilizaron gráficos de dispersión para posteriormente a través del mismo obtener la línea de tendencia, el coeficiente de determinación R^2 , además de la ecuación por medio de la cual se puede realizar la proyección deseada.

Cabe recalcar que la regresión múltiple se la aplico para ver la relación entre las siguientes variables:

- a. Agua destilada vs temperatura ambiente
- b. Temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador convencional
- c. Agua destilada vs temperatura interna del destilador convencional
- d. Agua destilada vs temperatura ambiente con respecto al destilador con adaptaciones
- e. Agua destilada vs temperatura interna del destilador con adaptaciones
- f. Temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador con adaptaciones

Cabe señalar que con el mismo programa y también utilizando un gráfico de dispersión se pudo obtener:

- a. Volumen del destilador adaptado vs la eficiencia del destilador adaptado en base a destilador convencional.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANALISIS DE LOS DATOS CLIMATICOS DE LA ZONA DE INFLUENCIA.

4.1.1. ADQUISICIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS

Para la adquisición de datos climáticos de la Ciudad de Bahía de Caráquez, lugar en donde se implementaron los sistemas de destilación se visitó la estación meteorológica de la PUCE-Bahía como se indica en el anexo 1 ubicada en las coordenadas en la zona 17M 9927311.01 m S 567032.69 m E, en donde se adquirió la base de datos de heliofanía, temperatura, precipitación desde el año 2011 hasta el 2018 y la declinación solar a través de la ecuación de (Cooper, 1972).

En los anexos (2-8) se reflejan las tablas con los respectivos datos de cada uno de los parámetros establecidos.

A continuación, se muestra los promedios anuales de los mismos:

Cuadro 4.3. Promedios anuales de los datos recopilados en la estación meteorológica PUCE-Bahía en los años 2011-2018

| PROMEDIOS ANUALES DE LOS DATOS RECOPIADOS EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUCE-BAHÍA | | | | | | | | PROMEDIO GENERAL |
|---|------|-------|------|------|------|-------|-------|------------------|
| AÑOS | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2017 | 2018 | |
| Heliofanía (h) | 94,5 | 105,6 | 78,8 | 89,9 | 64 | 105,7 | 103,9 | 91,8 |
| Temperatura Min. (°C) | 19 | 20,3 | 19,5 | 18,9 | 19,3 | 16,9 | 17,6 | 18,8 |
| Temperatura Max. (°C) | 30 | 30 | 29,3 | 30,8 | 31,3 | 32,3 | 32,1 | 30,8 |
| Precipitación (mm*m ²) | 20,7 | 75,6 | 47 | 32,1 | 34,9 | 55 | 53,2 | 45,5 |
| Declinación solar (°) | 14 | -3,1 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 11,6 |

Grauthoff et al., (2012) mencionan que para un estudio el cual contemple analizar los datos climáticos de un lugar es necesario que la información de datos sea por lo menos un mínimo de 5 años y de la estación meteorológica más cercana.

En los datos recopilados entre los años 2011-2018 se obtuvo un promedio general en heliofanía de 91,8 horas sol, mientras que las temperaturas promedio oscilaban entre los 18,8 °C a 30,8 °C, con respecto a la precipitación en todos esos años se tuvo un promedio de 45,5 mm*m². Weather Spark (2019) afirma que específicamente la zona de influencia puede llegar hasta 12 horas y 10 minutos de luz natural, con un promedio de energía solar aproximado de 6,6 kWh, la cual tiene temperaturas que varían de 22 °C a 29 °C, con una precipitación media de 466 mm.

4.1.2. TABULACIÓN DE GRÁFICA DE LOS DATOS CLIMÁTICOS OBTENIDOS

A través de los datos adquiridos en la estación meteorológica PUCE-Bahía por medio del Programa Excel versión 2013 se pudo tabular y a la vez realizar las respectivas gráficas de heliofanía, temperatura máxima y mínima, precipitación y la declinación solar, la misma se calculó a través de la ecuación establecida por (Cooper, 1972).

A continuación, se muestran los resultados gráficamente con línea de tendencia, obtenidos por medio de los datos climatológicos a través de la estación meteorológica ya mencionada.

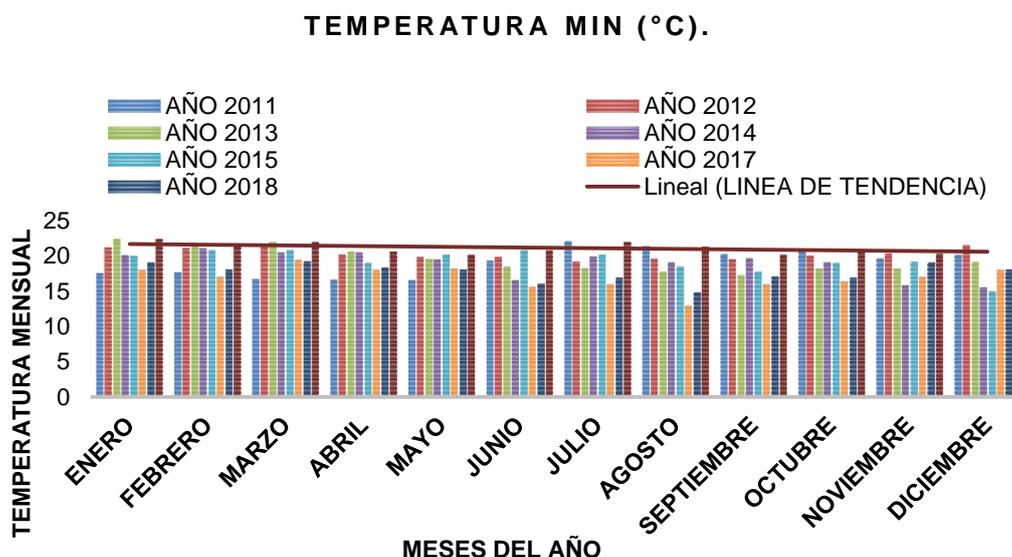


Gráfico 4.1. Temperaturas mínimas de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018

En el gráfico 4.1. muestra las temperaturas mínimas en un rango de 13 a 22 °C en los años 2011- 2018, en el mismo se aprecia que el año 2012 hubo una temperatura de 21,5 °C siendo esta la mayor temperatura mínima en todos los años, mientras que el año 2017 se presentó la menor temperatura mínima a 13 °C. En relación a la línea de tendencia, es negativa levemente y presenta una disminución en temperatura lo largo de los años. Cabe recalcar que la distinción entre elementos y factores del clima es bastante artificial. Se puede decir que cualquier variable meteorológica podría ser considerada, desde el punto de vista de la climatología, indistintamente como elemento del clima o como factor del mismo, en el sentido de que no sólo por el régimen de los demás elementos climatológicos. Es el caso de la presión atmosférica que como elemento tiene poca importancia pero resulta ser un factor fundamental de los vientos (Pierre, 1983).

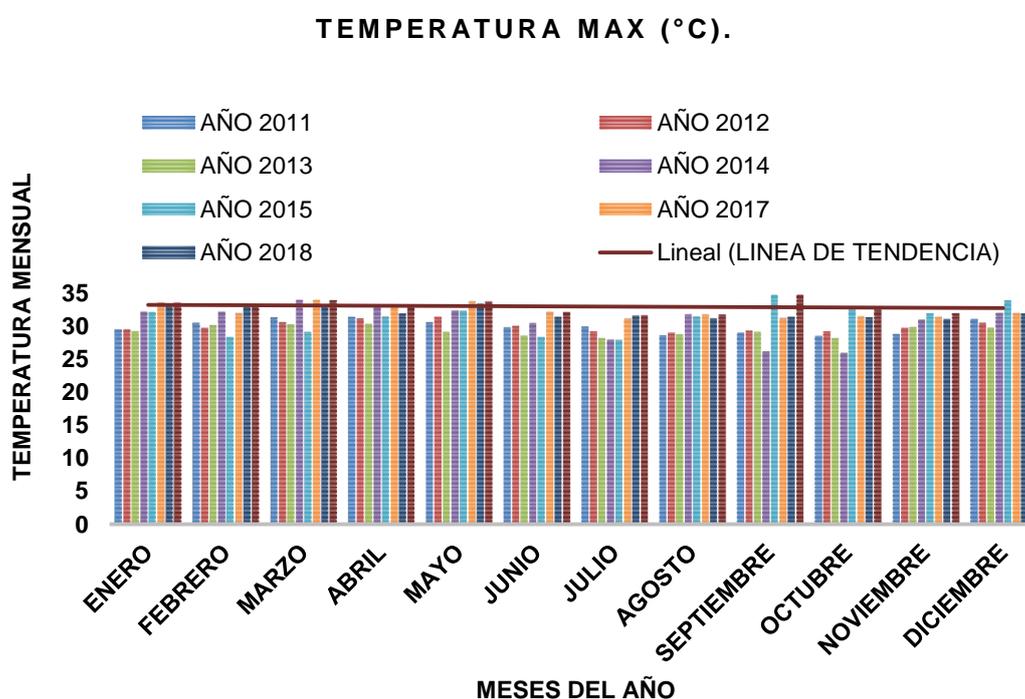


Gráfico 4.2. Temperaturas máximas de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018

Con respecto a las temperaturas máximas de la ciudad de Bahía de Caráquez en los años 2011- 2018 reflejadas en el gráfico 4.2., se puede observar que tiene

tendencia negativa lo mismo lleva a una ligera disminución del parámetro. Por otro lado, la mayor temperatura máxima se alcanzó en el año 2015 llegando a 34,8 °C y la menor temperatura máxima a 26 °C en el año 2014. Además por medio del gráfico y a través de los datos obtenidos en la estación meteorológica se pudo determinar que los meses donde se dieron temperaturas elevadas cercanas a la mayor temperatura máxima, fueron: marzo 34 °C, abril 33,2 °C y diciembre 34 °C.

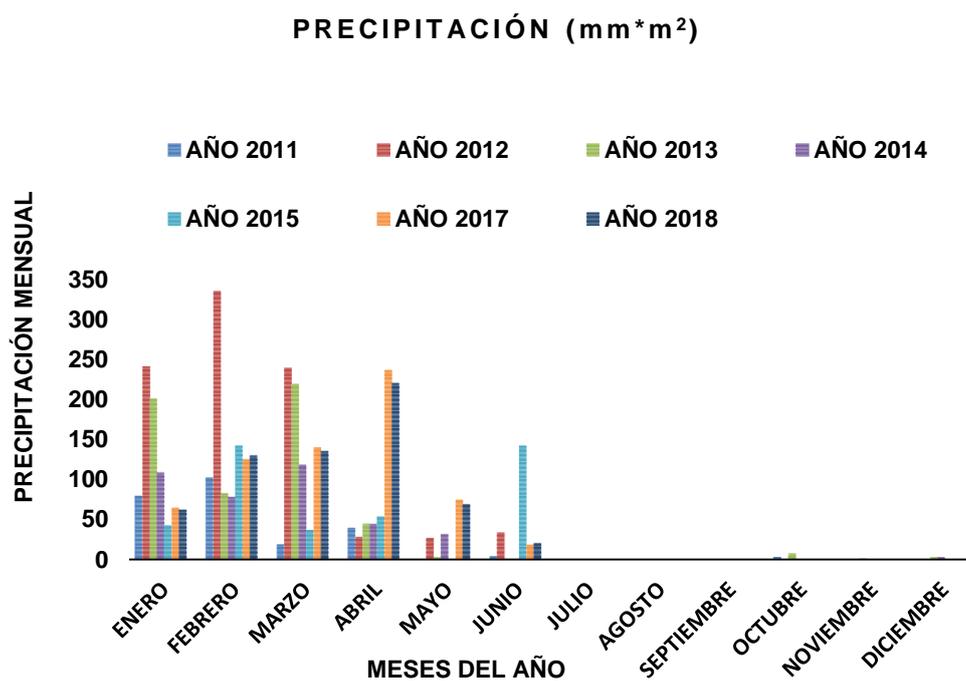


Gráfico 4.3. Precipitación de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018

A continuación, se presentan las precipitaciones desde el año 2011 hasta el 2018 las cuales corresponden al gráfico 4.3., en el cual se pudo observar que desde enero hasta junio se evidenciaron precipitaciones, caso contrario a lo sucedido desde julio a diciembre. La mayor precipitación se dio en el año 2012 con 335 mm*m², mientras que en el mes de noviembre del mismo año se dio una de las mínimas precipitaciones con 0 mm*m². Además, se observa que disminuye con el paso de los años. Esto debido a los aumentos de temperaturas que ocasionan pérdida constante de áreas verdes fuentes reductoras de gases de efecto invernadero (Armenta et al., 2016).

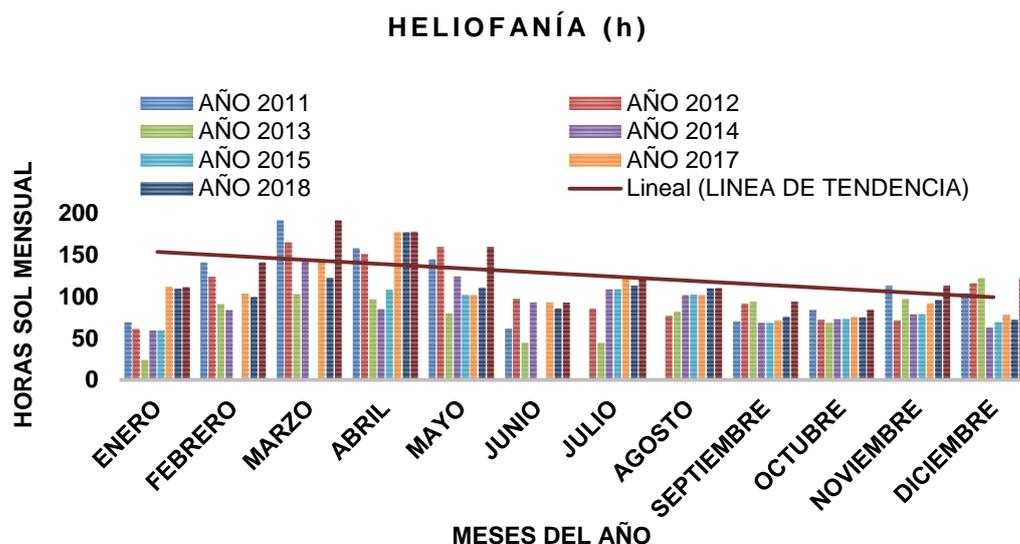


Gráfico 4.4. Heliofanía de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018

En relación a la heliofanía, se estableció que el año 2011 se obtuvo la mayor heliofanía llegando a los 191,1 h; mientras la menor fue en el año 2013 con 24,1 h, lo cual puede verificarse en el gráfico 4.4. Es necesario indicar que en el mes de abril se encontraron la mayor concentración de horas sol en todos los años estudiados al igual que en marzo y mayo. El presente parámetro al igual que los anteriormente mencionados cumple con una tendencia negativa retribuyendo en la disponibilidad diario de distribución geográfica de áreas boscosas debido a los cambios energéticos, espaciales y temporales presentes a través de la superficie (Ministerio de Transporte y Obras Públicas Ecuador, 2018).

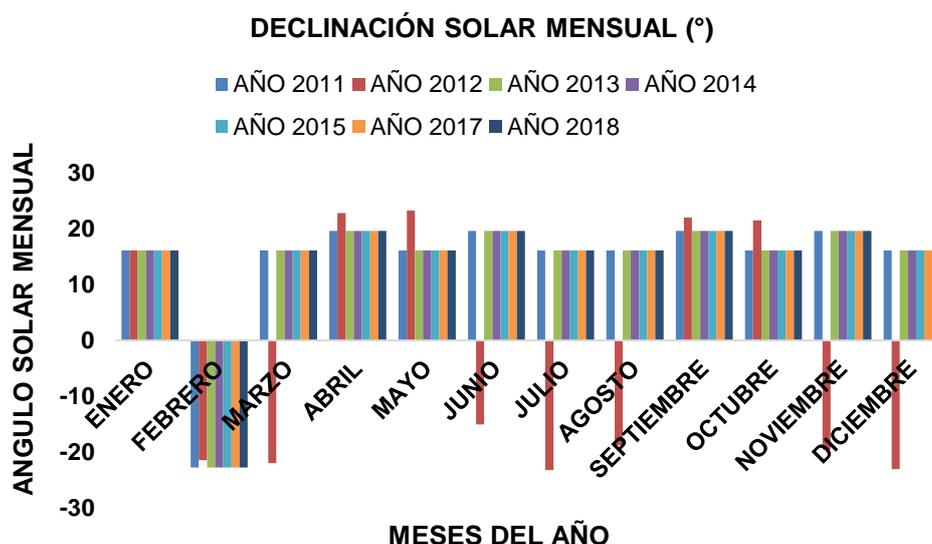


Gráfico 4.5. Declinación solar mensual de la Ciudad de Bahía en los años 2011-2018

Con respecto a la declinación solar mensual en los años 2011-2018 se lo realizó por la fórmula de (Cooper, 1972), cabe mencionar que la declinación solar es el ángulo que se forma entre el plano del Ecuador y la línea que une el centro del sol con la Tierra, en donde el ángulo no va a ser constante y va a estar variando en el transcurso del año. Es así que por medio del gráfico 4.5. Se observó que de todos los periodos previamente mencionados y analizados fue el año 2012 en el que se evidenció cambios en la declinación solar en comparación con los otros años debido a que el mismo era un año bisiesto. Asimismo, se hace mención a (Serrano, 2017) el cual señala que el ángulo de la hora solar tiene un campo de acción de -180° hasta 180° esto permite variabilidad de dicho ángulo en función de la hora solar a lo largo de un día.

Además, se debe recalcar que la declinación solar generalmente se establecerá dentro del rango de $\pm 23,45^\circ$ y a través de la gráfica se pudo evidenciar que todos los datos están dentro de lo antes mencionado.

4.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA A DESTILARSE.

Para la caracterización del agua a destilarse se tomó la muestra basada en el lineamiento establecido por la Secretaría de Salud (2004) teniendo en cuenta que la zona es de oleaje tranquilo, se tomó la muestra en un área donde la profundidad llegará a 1,0 m aproximadamente, además fue contracorriente del flujo entrante a unos 30 cm bajo la superficie del agua.

Posterior a eso se realizaron los análisis pre-destilación en el laboratorio de Ambiente de la ESPAM MFL los cuales fueron: físico-químicos y microbiológicos, lo cual se puede visualizar en el anexo 9.

A continuación, se muestra el cuadro con los respectivos resultados de los análisis pre-destilación.

Cuadro 4.4. Resultados de los análisis pre-destilación.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADO |
|---------------------------|------------|-----------|
| Temperatura | °C | 26,3 |
| Ph | ----- | 7,52 |
| Olor | ----- | Ausencia |
| Sabor | ----- | Salina |
| Sólidos disueltos totales | mg/l | 1200 |
| Sulfatos | mg/l | 446 |
| Nitrato | mg/l | 16 |
| Coliformes Fecales | nmp/100 ml | 900 |
| Coliformes Totales | nmp/100 ml | Ausencia |

De acuerdo al cuadro 4.4. los análisis de pre-destilación presentaron que la característica física química del agua de mar mantuvo una temperatura de 26,3 °C, presentó un pH de 7,52 y un agua sabor a salina estos parámetros ambientales estimados corresponden a las condiciones habituales del medio ambiente marino costero. En relación a los coliformes fecales se presentó un valor de 900 nmp/ 100 ml, clara evidencia de presencia de contaminación fecal pero aun así considerado normal en estas aguas, derivado de residuos de pañales y diversas actividades que conectan al cauce. Los valores obtenidos de sulfatos 446 mg/l y nitritos 16 mg/l en la presente investigación son derivados de actividades agrícolas en torno a la lixiviación, uso de sustancias orgánicas e inorgánicas así mismo no se pueden relacionar con los niveles reportados de contaminación fecal (Herrera & Suárez, 2005).

4.2. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN SOLAR CONVENCIONAL Y ADAPTADO.

4.2.1. ELECCIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS DESTILADORES, COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR.

Una vez analizada la información de Rojas (2015) el cual señala que para la construcción de un destilador solar se deben tomar en consideración muchos factores que influyen al momento de la implementación de un sistema de destilación como lo es el recurso económico y tecnológico al igual que lo menciona (Guevara, 2003) en donde el material más utilizado es el vidrio, es por ello que se procedió a la selección de los materiales, los mismos fueron

escogidos por su funcionalidad dentro de los sistemas de destilación ya sea este convencional o al que se le adaptó el colector solar y el reflector por medio de espejos.

A continuación, en el cuadro 4.5. se indica las características de los materiales que fueron utilizados en la construcción de los destiladores, colector y reflector solar.

Cuadro 4.5. Características de los materiales utilizados en la construcción de los destiladores solares, colector y reflector solar.

| MATERIALES UTILIZADOS | | |
|--|-------------------------|--|
| USO | TIPO DE MATERIAL | CARACTERÍSTICAS |
| Material para la construcción de destiladores solares y colector solar | Vidrio | <ul style="list-style-type: none"> • No contamina el agua destilada • Conductor de calor y frío • Textura: brillo característico, superficie lisa, homogénea y fácil de limpiar. • Peso: 2,5 kg/m² (por cada milímetro de espesor) • Dureza: 470 HK • Resistencia a la flexión: 45 Mpa • Resistencia a la compresión: 800-100 Mpa • Ablandamiento: 730°C |
| Material para la conexión de los equipos | Mangueras | <ul style="list-style-type: none"> • Resistente y ligero • Alto aislamiento térmico • No presenta corrosión |
| Material para aislamiento térmico | Espumaflex | <ul style="list-style-type: none"> • Alto aislamiento térmico • Baja densidad • Bajo costo |
| Material para el reflector solar | Espejos | <ul style="list-style-type: none"> • Superficie plana y lisa • La imagen que estos poseen es como si el objeto reflejado se ubicará por detrás de la superficie del mismo y no frente, es decir si se encontrará en el interior del mismo. • La imagen formada es virtual • La imagen formada está a la misma distancia que el objeto del espejo. • La imagen está derecha igual que el objeto, sin embargo, experimenta una inversión lateral, o sea la izquierda está a la derecha y viceversa • La imagen es de igual tamaño que el objeto. |

4.2.2. DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN, COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR.

Para la construcción de los sistemas de destilación se basó en la investigación elaborada por (Intriago & Zambrano, 2017) en la cual realizaron la repotenciación de un destilador convencional.

En la presente investigación se tomaron las medidas plasmadas en el cuadro 3.2. para la construcción de los sistemas de destilación solar, colector y reflector solar: En caso de los destiladores la altura 1 fue de 20 cm, la altura 2 de 60 cm teniendo un diagonal de 80,5 cm, y una inclinación de 30° y la base 70 cm. Para el colector solar se tuvo como referencia el trabajo efectuado por Guevara (2003) donde están establecidas las medidas para obtener un rendimiento elevado del colector las cuales fueron de 70 cm x 70 cm y una altura entre la base y la cubierta mínima de 7 cm. En cuanto al reflector solar las medidas de los espejos fueron 70 cm de ancho y 60 cm de alto.

Una vez establecidas las medidas para el proceso de construcción de los destiladores, colector y reflector solar, se procedió a la elaboración del diseño en el programa AutoCAD versión 2018 tal como se muestra en los anexos 10 y 11, Zea (2017) mencionando que esta herramienta permite llevar el control, basado en las mejoras continuas de los aspectos mecánicas y estructurales. Así mismo permite un diseño y fabricación precisa de los elementos que lo componen.

4.2.3. TOMA DE DATOS DE LOS PROCESOS DE DESTILACIÓN

Una vez construidos los dos sistemas de destilación como se presenta en los anexos 12 y 13, se realizó durante 30 días el proceso de destilación de agua de mar, en donde se efectuó la toma de datos haciendo un monitoreo cada hora, teniendo en consideración las temperaturas tanto internas de los destiladores como ambiente dadas por los termómetros digitales que se utilizaron en ambos sistemas, además se tomó el volumen de agua diaria destilada en los dos sistemas, para así calcular en el software Excel versión 2013 los promedios diarios tanto de los sistemas de destilación como de la -

temperatura ambiente, además se ubicaron los volúmenes de agua destilada de ambos destiladores.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

Cuadro 4.6. Promedios diarios de temperatura de los sistemas de destilación y volumen de agua destilada en ambos procesos.

| PROMEDIOS DIARIOS DE TEMPERATURAS (°C) | FECHA | 16/12/2019 | 17/12/2019 | 18/12/2019 | 19/12/2019 | 20/12/2019 | 21/12/2019 | 22/12/2019 | 23/12/2019 | 26/12/2019 | 27/12/2019 | 28/12/2019 | 29/12/2019 | 30/12/2019 | 2/1/2020 | 3/1/2020 | 4/1/2020 | 5/1/2020 | 6/1/2020 | 7/1/2020 | 8/1/2020 | 9/1/2020 | 10/1/2020 | 11/1/2020 | 12/1/2020 | 13/1/2020 | 14/1/2020 | 15/1/2020 | 16/1/2020 | 17/1/2020 | 18/1/2020 | |
|--|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| | TEMPERATURA AMBIENTE | | 29 | 29 | 28 | 28 | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 27 | 28 | 29 | 29 | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 29 | 29 | 29 | 28 | 29 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| DESTILADOR CONVENCIONAL | | 41 | 40 | 39 | 38 | 38 | 36 | 37 | 39 | 38 | 38 | 39 | 36 | 41 | 42 | 42 | 41 | 40 | 38 | 40 | 36 | 41 | 41 | 41 | 28 | 37 | 33 | 33 | 38 | 36 | 35 | |
| DESTILADOR ADAPTADO | | 44 | 44 | 44 | 43 | 42 | 41 | 40 | 41 | 42 | 41 | 42 | 40 | 43 | 45 | 46 | 44 | 43 | 41 | 42 | 38 | 43 | 43 | 43 | 30 | 39 | 34 | 35 | 40 | 38 | 38 | |
| COLECTOR SOLAR | | 39 | 39 | 38 | 39 | 38 | 34 | 36 | 35 | 35 | 34 | 37 | 36 | 37 | 39 | 40 | 38 | 37 | 36 | 38 | 33 | 39 | 38 | 39 | 28 | 34 | 31 | 31 | 36 | 33 | 33 | |

A través del cuadro 4.6. se observó los promedio diario de temperatura del destilador convencional, destilador con las adaptaciones, temperatura ambiente y colector solar, en donde el 3 de enero del presente año se dieron las temperaturas más altas en todos los sistemas de estudio, mientras que las temperaturas más bajas fueron el 12 de enero del presente año.

Cuadro 4.7. Volumen de agua destilada de los sistemas de destilación

| FECHA | 16/12/2019 | 17/12/2019 | 18/12/2019 | 19/12/2019 | 20/12/2019 | 21/12/2019 | 22/12/2019 | 23/12/2019 | 26/12/2019 | 27/12/2019 | 28/12/2019 | 29/12/2019 | 30/12/2019 | 2/1/2020 | 3/1/2020 | 4/1/2020 | 5/1/2020 | 6/1/2020 | 7/1/2020 | 8/1/2020 | 9/1/2020 | 10/1/2020 | 11/1/2020 | 12/1/2020 | 13/1/2020 | 14/1/2020 | 15/1/2020 | 16/1/2020 | 17/1/2020 | 18/1/2020 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| AGUA DESTILADA (cm ³) ADAPTADO | 260 | 280 | 275 | 250 | 255 | 245 | 245 | 250 | 250 | 240 | 250 | 240 | 250 | 280 | 300 | 280 | 250 | 240 | 250 | 225 | 275 | 270 | 270 | 170 | 210 | 160 | 200 | 210 | 200 | 200 |
| CONVENCIONAL | 200 | 225 | 210 | 195 | 190 | 185 | 180 | 195 | 190 | 180 | 190 | 185 | 195 | 225 | 245 | 225 | 195 | 185 | 195 | 165 | 210 | 215 | 210 | 100 | 150 | 145 | 110 | 155 | 135 | 135 |

Con respecto al volumen de agua destilada en los dos sistemas se logró destilar diario en el destilador con adaptaciones un máximo de 300 cm³ y mínimo de 160 cm³. Por otro lado, el destilador convencional destiló el volumen más alto llegando a 245 cm³ mientras que el mínimo fue 100 cm³ tal como se muestra en el cuadro 4.7., por ende, el destilador adaptado mantiene la modificación en reconocer el ángulo de incidencia de la radiación solar directa sobre la superficie del colector captando mayor rendimiento de las condiciones de irradiancia y temperatura (Lozano, 2019).

Cabe resaltar que en los días prácticos de la destilación se presentó nubosidad elevada por lo cual esta se vio influenciada en los resultados haciendo que las temperaturas no sean las más óptimas. No obstante, los procesos efectuados en el destilador con adaptaciones fueron aceptables.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN DESTILADOR ADAPTANDO COLECTOR Y REFLECTOR SOLAR.

4.3.1. ELABORACIÓN DE LOS ANÁLISIS POST-DESTILACIÓN

Una vez realizado el proceso de destilación durante los 30 días se procedió a la elaboración de los análisis post-destilación de ambos sistemas ejecutados para así comparar con la tabla 1 del TULSMA la cual se refiere a los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico,.

A continuación en el cuadro 4.8. se muestra los resultados obtenidos a través de los análisis post-destilación realizados:

Cuadro 4.8. Resultado de análisis Post-destilación de los dos sistemas implementados.

| PARÁMETROS | UNIDADES | DEST. CONV | DEST. ADAP | TULSMA |
|---------------------------|------------|------------|------------|----------|
| | | RESULTADO | RESULTADO | LMP |
| Temperatura | °C | 26,3 | 26 | CN +/-3° |
| pH | ----- | 7 | 6,6 | 6-9 |
| Olor | ----- | Inodora | Inodora | Inodora |
| Sabor | ----- | Insípida | Insípida | Insípida |
| Sólidos disueltos totales | mg/l | 900 | 850 | 1000 |
| Sulfatos | mg/l | 350 | 200 | 400 |
| Nitrato | mg/l | 10 | 9 | 10 |
| Coliformes Fecales | nmp/100 ml | 560 | 550 | 600 |
| Coliformes Totales | nmp/100 ml | Ausencia | Ausencia | 3000 |

Tomando como referencia la tabla 1 del TULSMA la cual se refiere a los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico a través del cuadro 4.8. se logró observar que el nitrato es el único parámetro que está justo en el límite máximo, pero esto es en el destilador convencional, en el destilador con adaptaciones el mismo baja y con respecto a los coliformes totales en los dos sistemas de destilación no hubo presencia del mismo, de ahí todos los parámetros están por debajo de los límites máximos permisibles. Cabe mencionar que mediante los análisis post-destilación se pudo determinar que al pasar por los procesos de destilación sirvió para que el agua destilada cumpla con los límites permisibles establecidos en el TULSMA. Asimismo, permitió separar los componentes basándose en diferencias en los puntos de ebullición.

Siempre tomando en cuenta los componentes presentes y su presión de bajos. Esto permite y asegura la muerte de los microorganismos en estado vegetativo (Valdivia et al., 2010).

4.3.2. APLICACIÓN DE PRUEBA t EN LOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN

Posterior a la tabulación de datos se realizó la prueba t Student para muestras independientes, la cual sirve para determinar la diferencia entre dos variables, en el presente estudio se analizaron dos casos, el primero fue basándose en la temperatura interna de los destiladores y el segundo fue con el volumen de agua destilada de ambos sistemas.

Las variables empleadas para la temperatura y volumen de agua fueron destilador convencional y destilador con adaptaciones. Para llevar a cabo el proceso en el software SPSS versión 25 del año 2017 se definió como valor de significancia 5 % por medio del cual se pudo comprobar la existencia de diferencias significativas en ambos casos, debido que la significancia bilateral resultó inferior al 5 % o 0,05 tal como se muestra en el cuadro 4.9.

Cuadro 4.9. Resultados de prueba t para muestras independientes de los dos sistemas de destilación implementados

| PRUEBA DE MUESTRAS INDEPENDIENTES | | | Prueba t para la igualdad de medias | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|
| | | | Sig (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar |
| Temperaturas | Destilador Convencional | Se asumen varianzas iguales | 0,001 | -2,942 | 0,83599 |
| | Destilador con adaptaciones | No se asumen varianzas iguales | 0,001 | -2,942 | 0,83599 |
| Volumen de agua destilada | Destilador Convencional | Se asumen varianzas iguales | ,000 | -58,66667 | 8,70372 |
| | Destilador con adaptaciones | No se asumen varianzas iguales | ,000 | -58,66667 | 8,70372 |

De acuerdo al cuadro presente expuesto se puede observar que la variable de temperatura interna del destilador con adaptaciones es superior a la temperatura alcanzada en un destilador convencional, sin embargo, se observa además que las adaptaciones en el destilador permiten destilar un volumen de agua mayor que un destilador convencional. Lo que puede confirmar que el tratamiento es efectivo por lo tanto se rechaza la hipótesis de igualdad de medias (García et al., 2010).

4.3.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA

La eficiencia del destilador con adaptaciones se determinó utilizando el destilador convencional como testigo, teniendo en consideración el volumen de agua destilada de ambos sistemas de manera diaria, para el cálculo se tomó como referencia la ecuación 2.3. de la eficiencia establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2001) en donde se reemplazó las variables.

En el cuadro 4.10. se aprecia la eficiencia del destilador con adaptaciones obtenida a partir del volumen de agua destilada de ambos sistemas de destilación, en la cual se observa que la eficiencia más alta fue de 45 % en los últimos días de destilación mientras la menor llegó a 18 %, teniendo una eficiencia promedio del 25 % en el destilador adaptado en base a destilador convencional.

Kumar et al., (2000), señala que una forma de aumentar la eficiencia de los destiladores solares convencionales puede ser llevado a cabo por la incorporación de un colector solar. Ulloa (2015) menciona que esta producción es satisfactoria ya que según estudios médicos se determinó que el agua destilada se puede aprovechar para consumo diario de una persona normal de líquido es de 2 litros diarios pero incluido comidas, frutas, agua, verduras. Esto quiere decir, que está conformado por la mitad de agua y la otra mitad en líquidos proporcionados por otros productos de consumo o incluso ser empleada en otras actividades de interés.

Cuadro 4.10. Eficiencia del destilador con adaptaciones en función de volumen de agua destilada.

| DÍAS | SISTEMAS DE DESTILACIÓN | | EFICIENCIA DEL DESTILADOR CON ADAPTACIONES EN FUNCIÓN DE VOLUMEN DE AGUA DESTILADA (%) |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| | ADAPTADO | CONVENCIONAL | |
| | AGUA DESTILADA (cm ³) | AGUA DESTILADA (cm ³) | |
| 1 | 260 | 200 | 23 |
| 2 | 280 | 225 | 20 |
| 3 | 275 | 210 | 24 |
| 4 | 250 | 195 | 22 |
| 5 | 255 | 190 | 25 |
| 6 | 245 | 185 | 24 |
| 7 | 245 | 180 | 27 |
| 8 | 250 | 195 | 22 |
| 9 | 250 | 190 | 24 |
| 10 | 240 | 180 | 25 |
| 11 | 250 | 190 | 24 |
| 12 | 240 | 185 | 23 |
| 13 | 250 | 195 | 22 |
| 14 | 280 | 225 | 20 |
| 15 | 300 | 245 | 18 |
| 16 | 280 | 225 | 20 |
| 17 | 250 | 195 | 22 |
| 18 | 240 | 185 | 23 |
| 19 | 250 | 195 | 22 |
| 20 | 225 | 165 | 27 |
| 21 | 275 | 210 | 24 |
| 22 | 270 | 215 | 20 |
| 23 | 270 | 210 | 22 |
| 24 | 170 | 100 | 41 |
| 25 | 210 | 150 | 29 |
| 26 | 160 | 110 | 31 |
| 27 | 200 | 110 | 45 |
| 28 | 210 | 155 | 26 |
| 29 | 200 | 135 | 33 |
| 30 | 200 | 135 | 33 |

4.3.4. ELABORACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE AGUA DESTILADA Y CORRELACIONAR LA EFICIENCIA DE LOS DOS SISTEMAS DE DESTILACIÓN

4.3.4.1. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA ESTIMAR EL VOLUMEN DE AGUA DESTILADA

Una vez obtenidos los datos de la tabulación se procedió a realizar la regresión lineal en el software Excel versión 2013, en el cual se utilizaron gráficos de dispersión para posteriormente a través del mismo obtener la línea de tendencia, el coeficiente de determinación R^2 , además de la ecuación por medio de la cual se puede realizar la proyección deseada.

Cabe recalcar que la regresión múltiple se la aplicó para ver la relación entre las siguientes variables:

- a. Agua destilada vs temperatura ambiente
- b. Agua destilada vs temperatura interna del destilador convencional
- c. Temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador convencional
- d. Agua destilada vs temperatura ambiente con respecto al destilador con adaptaciones
- e. Agua destilada vs temperatura interna del destilador con adaptaciones
- f. Temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador con adaptaciones

A continuación, se muestra los resultados de las regresiones lineales:

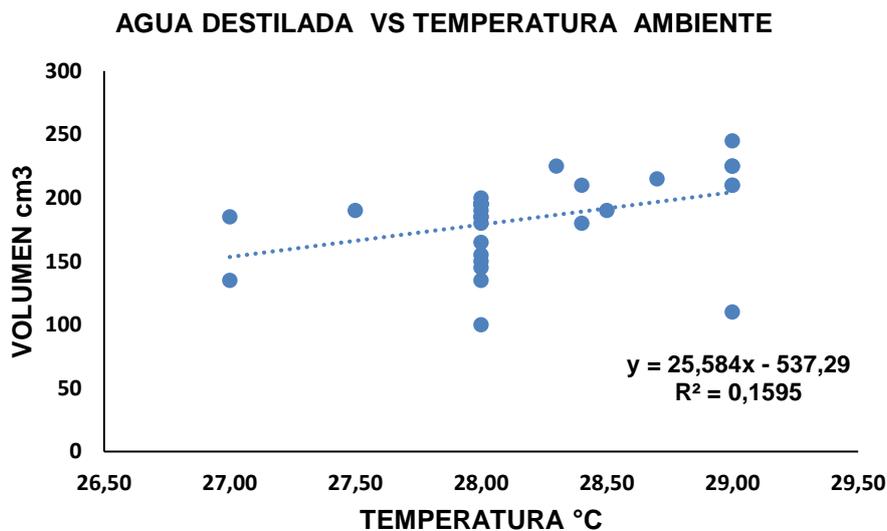


Gráfico 4.6. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura ambiente

En el gráfico 4.6. se observa la relación entre las variables cuantitativas agua destilada y la temperatura ambiente, en la cual la tendencia es positiva debido que la línea va ascendiendo, además se logra visualizar que la correlación entre ambas variables resulta relativamente baja debido que $R^2 = 0,1595$ y también porque los puntos se encuentran dispersos de la línea de tendencia. Las mayores temperaturas se alcanzan al medio día, el volumen de agua destilada mantiene un promedio de 150 a 200 cm^3 con una temperatura promedio de 28 $^{\circ}\text{C}$ por lo que se considera de acuerdo a (Fuentes et al., 2007) que el aprovechamiento del destilador convencional es bueno sin adaptaciones.

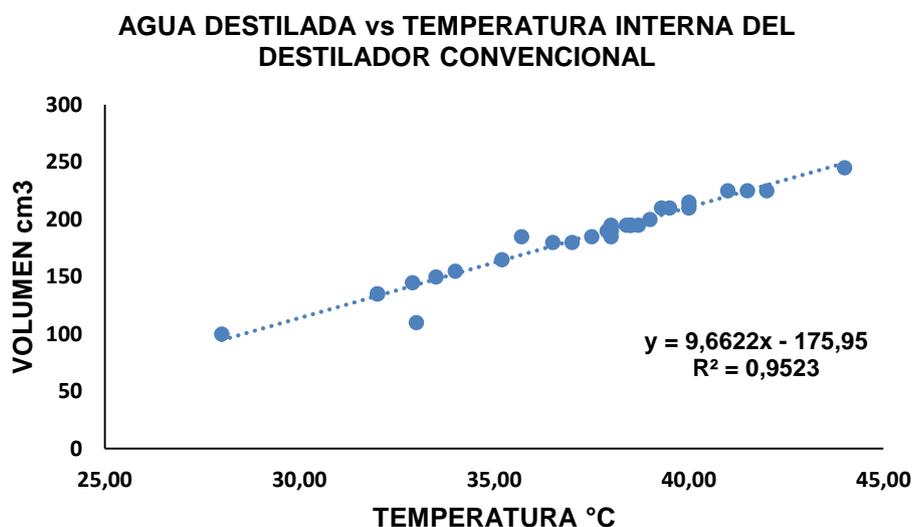


Gráfico 4.7. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura interna del destilador convencional

Se logra visualizar que la relación entre las variables agua destilada y temperatura interna del destilador convencional es elevada debido que los puntos de dispersión se haya cercanos a la línea de tendencia, así como se refleja en el gráfico 4.7. Además, el valor de R^2 es de 0,9523 lo que resulta ser bueno. Por lo que se puede mencionar que el destilador solar convencional permite elevar la temperatura del agua en el interior sin necesidad de utilizar fuentes de energía convencionales como combustibles fósiles o energía eléctrica, ya que aprovecha la energía emitida por el sol como su fuente de suministro (Tabuada, 2015).

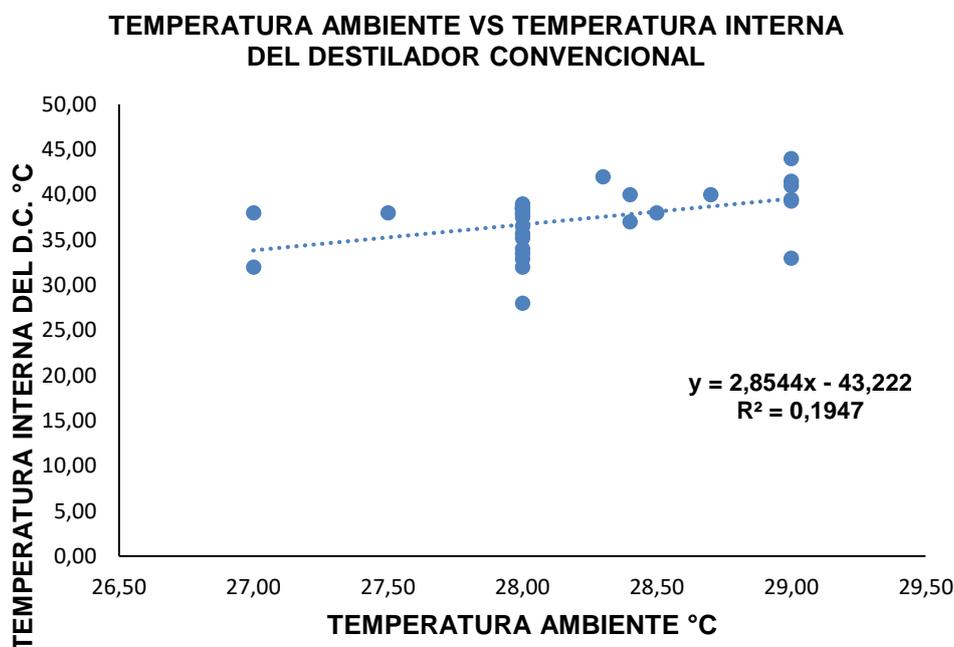


Gráfico 4.8. Regresión lineal de la temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador convencional.

En el gráfico 4.8. se observan las variables temperatura ambiente y temperatura interna del destilador convencional en el cual se aprecia que la tendencia es positiva mientras que la correlación es baja debido que los puntos que se encuentran están muy dispersos de la línea de tendencia además que el R^2 es 0,1947 lo cual corrobora lo antes mencionado. De Paul (2006) afirma que generalmente, en etapas de diseño térmico, se emplean coeficientes de transferencia convectivos conocidos desde superficies infinitas, hacia medios abiertos semi-infinitos. Estos valores no tienen correspondencia con los que

ocurren en recintos cerrados, donde las características fluidodinámicas del flujo imponen valores propios para cada geometría y condición de trabajo.

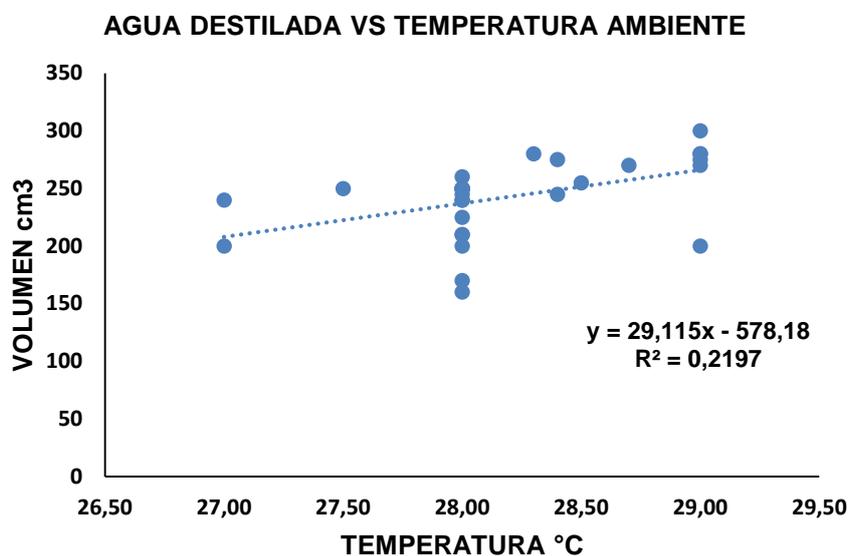


Gráfico 4.9. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura ambiente con respecto al destilador con adaptaciones

Con respecto a las variables agua destilada y temperatura ambiente para el caso del destilador con adaptaciones presente en el gráfico 4.9. se da una relación baja, tiene tendencia positiva pero los puntos de dispersión se encuentran distantes de la misma, lo que comprueba lo anteriormente mencionado es decir la existencia de una relación baja. Fonseca *et al.*, (2019) manifiesta que las temperaturas en las partes medidas siguen la misma tendencia, las máximas se alcanzan alrededor del mediodía solar lo que responde a los picos de irradiancia solar es decir el equipo comienza a destilar entre las 8h00 am y las 10h00 am y el volumen de agua destilada aumenta progresivamente alcanzando valores máximos entre las 12h00 pm y 2h00 pm donde destila aproximadamente 200 a 250 cm³ de volumen destilado total a una temperatura entre 28 a 29 °C. Luego el volumen de agua destilada va disminuyendo progresivamente hasta las 5h00 pm hora en que prácticamente termina de destilar.

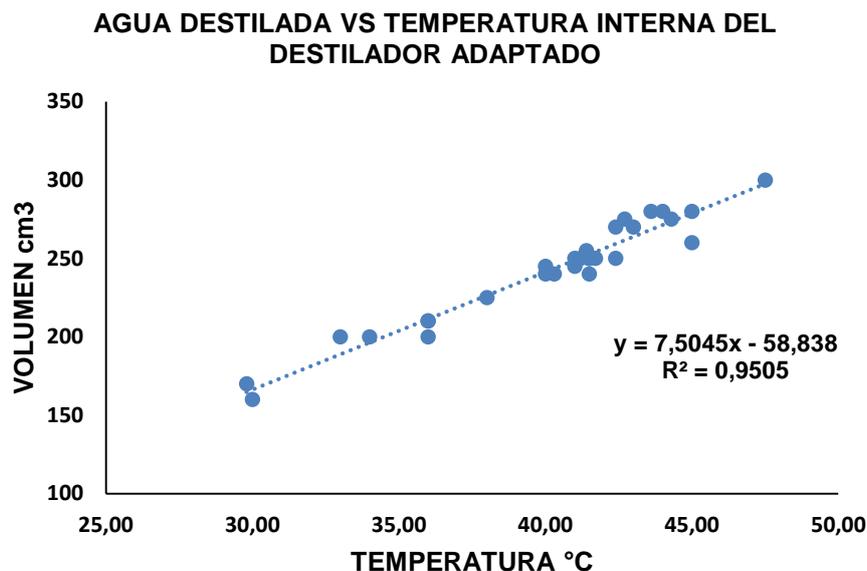


Gráfico 4.10. Regresión lineal del agua destilada vs temperatura interna del destilador con adaptaciones

Para el caso del agua destilada y la temperatura interna del destilador adaptado presente en el gráfico 4.10. se evidencia una relación elevada debido que el coeficiente de determinación $R^2 = 0,9505$, además se visualiza que los puntos de dispersión están muy cercanos a la línea de tendencia con lo cual se determina que hay una buena relación entre el volumen de agua destilada y la temperatura interna del destilador con adaptaciones.

Por su parte, Guzmán (2020) indica que la intersección de la línea con el eje vertical es donde la temperatura del fluido que ingresa al colector es igual a la temperatura ambiente y la eficiencia del colector es máxima. Las pérdidas de calor equivalen a la absorción solar y el captador no llegase a entregar calor útil a esta condición, normalmente llamada estancamiento, generalmente ocurre cuando no hay fluido o flujo en el captador.

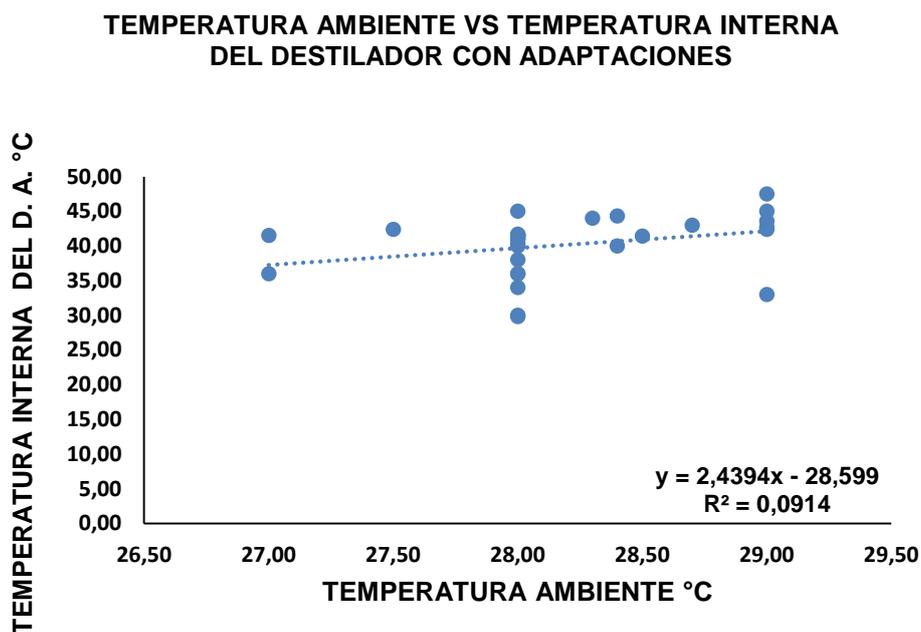


Gráfico 4.11. Regresión lineal de temperatura ambiente vs temperatura interna del destilador con adaptaciones.

Con relación al gráfico 4.11. se observa una correlación baja debido que el coeficiente de determinación es 0,0914 manteniendo una potencialidad para las variables temperatura ambiente y temperatura interna del destilador con adaptaciones, además presenta una tendencia positiva en relación a la potencialidad. La autora Guzmán (2020) hace mención a que el acoplamiento del reflector interno y un colector la productividad del destilador aumenta gradualmente. Además, se debe tener en cuenta que la captación de energía durante todo el día siempre es menor si se tienen índices de claridad menores a 0,8 independientemente de la latitud.

4.3.4.2. CORRELACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL DESTILADOR CON ADAPTACIONES EN FUNCIÓN AL VOLUMENEN DE AGUA DESTILADA

En el caso de la correlación lo que se realizó por medio del programa Excel versión 2013 donde a través de un gráfico de dispersión se pudo observar el grado de relación existente entre el volumen del destilador adaptado vs la eficiencia del destilador adaptado en base a destilador convencional.

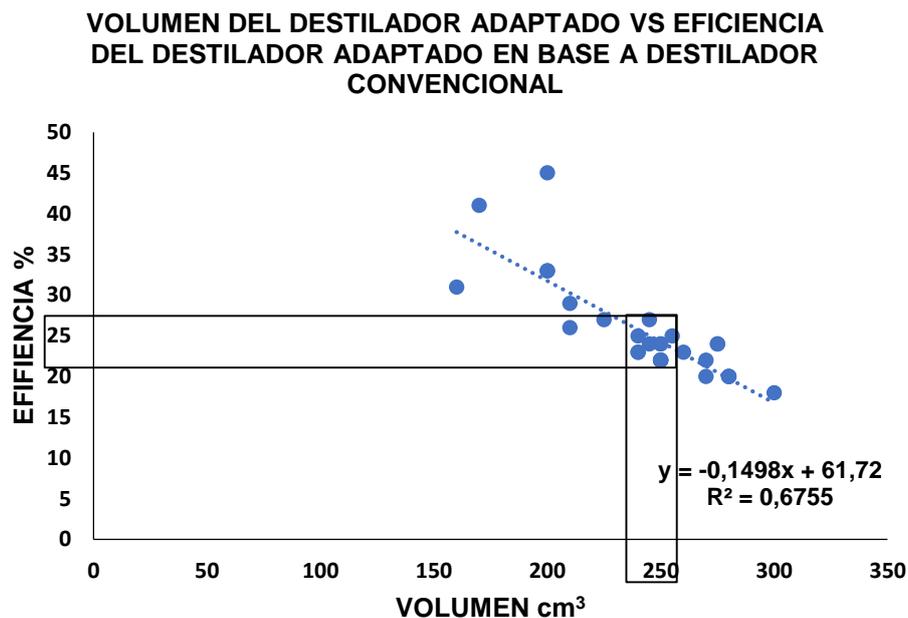


Gráfico 4.12. Correlación del volumen del destilador con adaptaciones vs la eficiencia del destilador adaptado en base a destilador convencional

En el gráfico 4.12. se visualiza la existencia de una relación media alta, ya que el coeficiente de determinación $R^2=0,6755$ y la línea de tendencia corrobora lo antes mencionado. Además, el mismo gráfico muestra la intersección de las barras rectangulares, donde los puntos de dispersión se acumulan teniendo una eficiencia del 25 % dando un volumen de agua destilada de 250 cm³. Realizando una traspolación con el área del destilador con adaptaciones el cual fue de 0,49 m², se pudo determinar que en 1 m² en el destilador se obtendría alrededor de 510 cm³ de volumen de agua destilada.

Mercado & Lam (2015) señalan que la obtención de agua destilada mediante un destilador solar convencional es viable, pero se puede obtener mayor aprovechamiento en un destilador con adaptaciones. Aunque el volumen obtenido es totalmente dependiente de las condiciones climáticas, especialmente de la radiación solar, la cual es variable. Otros factores climáticos incidentes son la nubosidad y la velocidad del viento.

Esto quiere decir que con todos los resultados obtenidos se comprueba la hipótesis establecida en el proyecto de investigación, en el cual se pudo

constatar que con las adaptaciones que se hicieron en el destilador lo cual fue el colector y reflector solar si ayudo a que se potenciará la eficiencia del destilador adaptado en base a destilador convencional.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se analizó información de los datos climáticos para conocer el comportamiento de la zona de influencia, se observó la distribución de los mismos y se logró obtener la temperatura mínima promedio que fue de 18,8 °C, temperatura máxima promedio de 30,8 °C, la precipitación que fue de 45,5 mm*m², una heliofanía promedio de 91,8 h/año y una declinación solar anual de 11,6°.
- Con respecto a la implementación de los sistemas de destilación solar se eligieron materiales de acuerdo a su funcionabilidad, el más utilizado fue el vidrio, para los dos destiladores solares las medidas fueron: altura 1 de 20 cm, altura 2 de 60 cm, tuvo una base de 70 cm y una inclinación de 30°, en el caso del colector solar las medidas fueron 70 cm de ancho y 70 cm de largo y una altura de 7 cm, el reflector solar fue construido con dos espejos de 70 cm de largo y 60 cm de ancho.
- Una vez construidos y en funcionamiento los sistemas de destilación se procedió a realizar el análisis de agua post destilación, donde se obtuvo que la misma se encontró dentro de los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico del Libro 1 del TULSMA.
- La eficiencia promedio del destilador con adaptaciones fue del 25 %, con una destilación de 250 cm³ de agua en un área de 0,49 m² con lo cual se comprueba la hipótesis establecida en el proyecto de investigación. Además se evidencia la alta relación existente entre el agua destilada con la temperatura interna del destilador ya que $R^2= 0,9523$ caso similar al que se efectuó con el agua destilada y la temperatura interna del destilador con adaptaciones en el cual $R^2= 0,9505$.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es necesario contar con datos climáticos y solares de la zona donde se realicen trabajos de este tipo, además sería factible que los datos sean de un periodo mínimo de 5 años.
- Elegir materiales que sean adecuados para el trabajo a realizar en donde se pueda obtener resultados satisfactorios.
- Realizar los análisis de físico químicos y microbiológicos lo más pronto una vez efectuada la toma de muestra para evitar que se modifiquen las características del agua.
- Llevar a cabo estudios con este tipo de tecnologías e implementar más adaptaciones solares con el fin de aumentar la eficiencia del destilador solar para que así tengan una mayor utilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, D. (2009). Energía solar termica. (En línea). Consultado, 7 de Agos. 2019. Formato: PDF. Disponible en <http://blog.espol.edu.ec/josmvala/files/2010/12/energia-solar-termica.pdf>
- Ulloa, J. A. (2015). Destilador solar para potabilizar el agua para una familia de 3 a 4 personas en el sitio bajo alto, cantón El Guabo, Provincia de El Oro. En Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. UTMACH Unidad Académica de Ingeniería Civil. Carrera de Ingeniería Civil. Machala, El Oro. (En línea). Consultado, 16 de Abr . 2020. Formato: PDF. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2930/1/PROYECTO%20DE%20TITULACION.pdf>
- Alquicira, J. (2017). Análisis de correlación. (En línea). Consultado, 13 de Feb. 2020. Formato: HTML. Disponible en <http://conogasi.org/articulos/analisis-de-correlacion-2/>
- Arancibia, C., Best, R., & Brown, J. (2010). Energía del sol. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf
- Arévalo, J. (2014). Construcción y lanzamiento de líneas submarinas de HDPE 18 en la repotenciación del sistema de captación de agua de mar hasta 130 L/S. Sociedad Minera Cerro Lindo-Ica. (En línea). Consultado, 25 de Jul. 2019. Formato: HTML. Disponible en <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1714>
- Armenta, G. E., Villa, J. L., & Jácome, P. S. (2016). Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático. Ecuador. (En línea). Consultado, 04 de Mar. 2020. Formato: PDF. Disponible en <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/EQU/14%20Proyecciones%20>

de%20Clima%20Futuro%20para%20Ecuador%20en%20base%20a%20I
PCC-AR5.pdf

- Arreguín, F. (2000). Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México.
- Astudillo, F. (2014). Los destiladores solares. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: HTML. Disponible en <http://www.sitiosolar.com/los-destiladores-solares/>
- Badran, O., & Tahaineh, A. (2005). The effect of coupling a flat-plate collector on the solar still productivity. Desalination. (En línea). Consultado, 03 de Jun. 2019. Formato: HTML. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Omar_Badran/publication/222676898_The_effect_of_coupling_a_flat-plate_collector_on_the_solar_still_productivity/links/5c686455299bf1e3a5ad3779/The-effect-of-coupling-a-flat-plate-collector-on-the-solar-still-productivi
- Barrenchea, A. (2005). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. (En línea). Consultado, 15 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Barrera, C., Váldez, P., & Lugo, L. (1987). Construcción y pruebas de un destilador solar esférico. Memorias de la XI Reunión Nacional de Energía Solar. Revista Scielo, Vol. 30. p 15-27.
- Blanco, F. (1997). Desalación de Agua para Consumo Humano. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Bolaños, D., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela. (En línea). Consultado, 15 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Cabero, J. (2015). Proceso de desalacion de agua de mar mediante un sistema de osmosis inversa de muy alta conversion en tres etapas con

recirculación de permeado y doble sistema de recuperación de energía. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18530/TESIS_CABERO_GARCIA_JULEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velásquez, O. (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes ecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México., p 2-3. (En línea). Consultado, 25 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf

Chargoy, N., & Fernández, J. (2018). Destilador solar para agua. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/BancoDeInformacion/BancodelImagenes/Documents/DestiladorSolarPAraAgua.pdf>

Cid, M. (2014). Reflexión y refracción. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en http://ciencias.ubiobio.cl/fisica/wiki/uploads/AntonellaCid/F2_14.pdf

Cipollina, A. (2007). Efficiency increase in thermal desalination plants by matching thermal and solar distillation theoretical analysis. *Revista Journal for Desalinization*. Vol. 183. p. 127-136.

Cooper, P. (1972). Transferencia de calor y masa. *Revista Energía solar*. Vol. 13. p. 373-381.

De Paul, I. (2006). Coeficiente de transferencia convectiva H en el interior de un destilador tipo Batea. Instituto UNSa - CONICET. Vol 1. p. 1-5. (En línea). Consultado, 14 de Abr. 2020. Formato: PDF. Disponible en <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t003-a006.pdf>

- Delgado, A. (2017). Agua potable para Bahía de Caráquez. El diario. Portoviejo. Ec. (En línea). Consultado, 21 de May. 2019. Formato HTML. Disponible en <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/449196-agua-potable-para-bahia-de-caraquez/>
- Delyannis, E. (2003). Historic background of desalination. Revista Solar Energy. Vol. 75. p. 357-366.
- Enriquez, R., & Ruiz, S. (2013). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en Mexico. Revista Tecnologías y Ciencias del Agua. Vol. 4. p. 27-46.
- Escuela Superior de Informática. (2008). Correlaciones con SPSS. Prácticas de estadísticas. (En línea). Consultado, 13 de Feb. 2020. Formato: HTML. Disponible en <https://www.uclm.es/profesorado>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2001). Manual de diseño de métodos de riego. Cap 3. Eficiencia de riego. (En línea). Consultado, 10 de Mar. 2020. Formato: PDF. Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recreat/pdf/MR_cap3.PDF
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo "El agua es un recurso precioso, crucial para lograr lo objetivos de Desarrollo Sostenible", Ban Ki-moon. (En línea). Consultado, 21 de May. 2019. Formato: HTML. Disponible en <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. (En línea). Consultado, 21 de May. 2019. Formato: HTML. Disponible en <https://www.redalyc.org/html/863/86325090002/>
- Fernandez, p. (2014). Condensación y Vaporización. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. de <http://files.pfernandezdiez.es/IngenieriaTermica/Teoria/PDFs/14.pdf>

- Fonseca, S., Abdala, J., Griñán, P., & Sánchez, J. (2005). Prototipo de destilador solar de fibra de vidrio. *Revista Tecnología química*. Vol. 3. p. 57-64.
- Fonseca, S., Rosales, J., Fonseca, F., Miranda, E., & Fuentes, O. (2019). Software "SoftDest" y su validación. *Centro de Investigaciones de Energía Solar*. Vol 40(1). p 68-80. (En línea). Consultado, 14 de Abr. 2020. Formato:PDF. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v40n1/2224-6185-rtq-40-01-68.pdf>
- Fuentes, M., González, L., Montellano, M., Chacón, A., Ramírez, E., & Garrido. (2007). Destilación solar tubular una opción para obtener agua potable a partir de aguas salobres para comunidades rurales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, Vol 1(3). p. 1-7. Formato: HTML. Disponible en [doi:http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2007.1.3.14434](http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2007.1.3.14434)
- Fujioka, R., Wang, L., Dodbiba, G., & Fujita, T. (2013). Application of progressive freezeconcentration for desalination. *Revista Desalination*. Vol. 319. p. 33-37.
- García, J., García , C., Nájera , H., Vera , P., & Vázquez, R. (2010). Desarrollo y caracterización de un destilador solar para su aprovechamiento en el tratamiento de agua contaminada. *Revista Lacondonia*. Vol 4(2). p. 71-77.
- García, R. (2011). Introducción al SPSS: Prueba t. (En línea). Consultado, 25 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en https://www.uv.es/innomide/spss/SPSS/SPSS_0701b.pdf
- Garcia, S. (2017). Reflexión dep la luz. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <http://sergioandresgarcia.com/pucmm/fis202/2.Reflexion%20de%20la%20luz%20-%20Wikipedia.pdf>
- García, R., González, J., & Jornet, M. (2010). SPSS: Prueba T. En *InnovaMIDE*. Grupo de Innovación Educativa Universitat de Valencia. p. 1-6. (En línea). Consultado, 14 de Abr. 2020. Formato: HTML. Disponible en <http://www.uv.es/innovamide>

- Gómez, O. (2018). Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable. (En línea). Consultado, 15 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/873/1/17450.pdf>
- Grauthoff, M., Janssen, U., & Fernandes, J. (2012). Identificación y movilización del potencial solar mediante estrategias locales. (En línea). Consultado, 13 de Febr. 2010. Formato: PDF. Disponible en https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/polis_guidelines_spanish_es.pdf
- Guevara, S. (2003). Diseño de colectores solares. (En línea). Consultado, 15 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/xviii.pdf>
- Guzmán, C. (2020). Desarrollo y evaluación de destiladores solares de agua de alto rendimiento. En Tesis para obtener el título de Doctor en Ciencias de la Ingeniería. p. 1-148. México: Universidad Autónoma del Estado de México. (En línea). Consultado, 10 de Abr. 2020. Formato: PDF. Disponible en http://148.215.1.182/bitstream/handle/20.500.11799/105716/Tesis_DCI_ACG_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hamed, O., Zamamiri, A., Aly, S., & Lior, N. (1996). Thermal performance and exergy analysis of a thermal vapor compression desalination system. Vol. 37. p. 30-32.
- Hermosillo, J. (1995). Notas sobre curso de Energía Solar. (Ingeniería, Ed.) Jalisco, Mexico: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Herrera, A., & Suárez, P. (2005). Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. Revista Interciencia, Vol. 30(3). p 1-8. (En línea). Consultado, 10 de Abr. 2020. Formato: PDF. Disponible en

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000300011

- Holman, J. (1998). *Transferencia de calor*. España: Revista McGraw-Hill/Interamericana.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2018). Promedio de personas por hogar en el Ecuador. (En línea). Consultado, 03 de Jun. 2019. Formato: HTML. Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=337&force=0>
- Intriago, J., & Zambrano, D. (2017). Repotenciación de un destilador solar para agua salina por medio de transferencia de calor y condensación fotovoltaica. (En línea). Consultado, 03 de Jun. 2019. Formato: PDF. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/628/TMA146.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Inzunza, J. (2006). *Temperatura*. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap4_Inzunza_Temperatura.pdf
- Kattegoda, N., & Rosso, R. (2008). *Methods of Regression and Multivariate Analysis. Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers*. 2^{da} edition. p. 326-404.
- Khawaji, A., Kutubkhanah, I., & Wie, J. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Revista Desalination*. Vol. 221. p. 47-69.
- Kumar, S., Tiwari, G., & Singh, H. (2000). Annual performance of an active solar distillation system. *Revista Desalination*. Vol. 127. p. 79-88.
- Lamela, A. (2006). *Desalinización de agua de mar*. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en http://www.cuentayrazon.org/revista/pdf/130/Num130_006.pdf

- López, U. (2005). Aplicación de la electrodiálisis a la eliminación de nitrato en agua. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible en <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/157/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20electrodi%C3%A1lisis%20en%20agua..pdf>
- Lozano, M. Á. (2019). Colectores solares térmicos. En Departamento de Ingeniería Mecánica - Universidad de Zaragoza. p. 1-62. (En línea). Consultado, 16 de Abr. 2020. Formato: HTML. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/338254329_COLECTORES_SOLARES_TERMICOS
- Martinez, G. (2015). Refracción de la luz. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en <https://www.guao.org/sites/default/files/D.4%20Refracci%C3%B3n%20de%20la%20Luz.pdf>
- Martínez, M. (2016). Radiación solar-concepto y aplicaciones. (En línea). Consultado, 11 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40616.pdf>
- Medina, J. (2000). Desalinización de aguas salobres y de mar en ósmosis inversa. Madrid, España: Editorial Mundi Prensa. Vol. 23.
- Mercado, C., & Lam, E. (2015). Evaluación de un sistema de desalinización solar, tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar. Revista Avances en Ciencias e Ingeniería. Vol 6(4). p 19-28. (En línea). Consultado, 08 de Abr. 2020. Formato: PDF.. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323643356003.pdf>
- Mesa, F. (2012). Colector Solar de Placa Plana. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902628.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas Ecuador. (2018). Estudio de impacto ambiental (EIA) expost. En Construcción de la carretera Playas - El Morro

- Posorja incluyendo la construcción de puentes. p. 1-260. (En línea). Consultado, 04 de Ene. 2020. Formato: PDF. Disponible en https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/EIA_Carretera-Playas-EI-Morro-Posorja_Capitulo-6_-Diagnostico-Ambiental.pdf

Montgomery, D. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. Ed. Grupo Editorial Iberoamérica. Vol. 589.

Muñoz, F., Barrera, E., & Gallegos, E. (2010). Experiencias de la destilación Solar. Revista de Energías Renovables. Vol. 1. p. 21-29.

Nandwani, S. (2013). Destilador Solar-Construcción, Funcionamiento y Uso. (En línea). Consultado, 21 de May. 2019. Formato: HTML. Disponible: en https://www.academia.edu/36599689/DESTILADOR_SOLAR_-CONSTRUCCI%C3%93N_FUNCIONAMIENTO_Y_USO

Ophir, A., & Gendel. (2007). Steam driven large multi effect MVC (SD MVC) desalination process for lower energy consumption and desalination costs. p. 224-230.

Ophir, A., & Lokiek, F. (2005). Advanced MED process for most economical sea water desalination.

Ordoñez, J. (2011). Ciclo Hidrológico. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf

Orózco, M., Muños, A., Delgadillo, F., & Segovia, J. (1994). Estudio bacteriológico de agua de mar para el cultivo de moluscos bivalvos en Baja California. Revista Ciencias Marinas. Vol. 20(2). p. 183-198.

Padilla , C. (1983). Investigaciones en proceso. ITESO. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en rei.iteso.mx/.../Investigaciones+en+Proceso+Iteso+1982-1983+%28Huella+4%29.pdf

- Paredes, C. (2012). Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf
- Picquart, M., & Carrasco, I. (2017). La temperatura. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en http://www.lajpe.org/mar17/1310_Picquart_2017.pdf
- Pierre, P. (1983). Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos. En Apartado 6596 CCI - Quito. p. 1-37. (En línea). Consultado, el 04 de Mar. 2020. Formato: PDF. Disponible en https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/21848.pdf
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (2008). Colectores solares para agua caliente. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/soft/opte/htdocs/modules/descargas/archivos/COLECTORES%20SOLARES%20PARA%20AGUA%20CALIENTE.pdf>
- Qiblawey, H., & Banat, F. (2008). Solar thermal desalination technologies. Revista Desalination. Vol. 220 p. 1-3.
- Raluy, G., Uche, J., & Serra, L. (2006). Life cycle assessment of MSF, MED and RO desalination technologies. Revista Energy. Vol. 31. p. 2361-2372.
- Renom, M. (2011). La radiación solar. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla8-RADIACION.pdf
- Ríos, A., Agudelo, R., & Gutiérrez, A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Facultad Nacional de Salud Pública. Revista Scielo. Vol. 2(35). p. 236-247.
- Rojas, C. (2015). Implementación de destiladores solares para la recuperación de agua desde piscinas de evaporación de Enaex planta Río Loa.

Valparaíso. (En línea). Consultado, 25 de Jul. 2019. Formato: HTML.
Disponible: en http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-0

Romero, O. (2013). Simulación de un sistema de destilación solar adecuado con remoción de sales. (En línea). Consultado, 02 de Jun. 2019. Formato: PDF. Disponible: en: cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/150/1/Tesis%20Ottoniel%20Romero%20Chac%C3%B3n.pdf

Sabando, A. (2017). Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba. (En línea). Consultado, 21 de May. 2019. Formato: HTML. Disponible: en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6663>

Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. . Revista Scielo. Vol. 26(1). p. 59-61.

Secretaría de la Salud. (2004). Lineamientos para determinar la calidad de agua de mar para uso recreativo con contacto primario. (En línea). Consultado, 20 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/lineamientos_para_determinar_la_calidad_del_agua_de_mar_para_uso_recreativo.pdf

Serrano, X. (2017). Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de un superifce plan para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca- Ecuador. En Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. p. 1-116. (En línea). Consultado, 04 de Mar. 2020. Formato: PDF. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14458/1/UPS-CT007120.pdf>

Shyam, S., & Nandwani, A. (2014). Energía solar. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-27_10-14-37105995.pdf

- Sirlin, E. (2006). Física de la luz: Refracción. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en http://www.elisirlin.com.ar/11_fisica%20de%20la%20luz.pdf
- Stedinger , J., & Tasker, M. (1985). Regional Hydrologic Analysis 1. Ordinary, Weighted and Generalized Least Squares Compared. Revista Water Resources Research. Vol. 21(9). p. 1421-1432.
- Tabuada, B. R. (2015). Diseño y construcción de un destilador solar para agua de una capacidad de 200 ML/día para los laboratorios del CIVABI. En Tesis previa a la otención del título de Ingeniero Mecánico. p. 1-108. (En línea). Consultado, 14 de Abr. 2020. Formato: PDF. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8615/6/UPS-KT01071.pdf>
- Thornley, J. (1976). Mathematical Models in Plant Physiology. Ed. Academic Press, p. 318.
- Tomé, C. (2019). Reflexión y refracción de la luz. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: HTML. Disponible: en <https://culturacientifica.com/2019/03/12/reflexion-y-refraccion-de-la-luz/>
- Valdivia, R. Y., Pedro, S., & Laurel, M. (2010). Agua para uso en laboratorios. Revista Boletín Científico Técnico INIMET. Vol 1. p. 3-10. (En línea). Consultado, 04 de Mar. 2020. Formato: PDF. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>
- Weather Spark. (2019). El clima promedio de Bahía de Caráquez. (En línea). Consultado, 7 de Agos. 2019. Formato: HTML. Disponible: en <https://es.weatherspark.com/y/18311/Clima-promedio-en-Bah%C3%ADa-de-Car%C3%A1quez-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- WHO. (2007). Desalinización para el suministro de agua potable segura. Guía de los Aspectos Ambientales y de Salud Aplicables a las Desalinización. Revista Desalination. Vol. 223.

- Yunus, A. (2010). En Transferencia de calor y masa. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf
- Zarza, E. (2005). Desalinización de agua de mar mediante energías renovables. (En línea). Consultado, 12 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en www.dipalme.org/servicios/anexos/anexosiea.nsf/vanexos/iea-sa-c10/.../sa-c10.pdf
- Zea, A. J. (2017). Diseño y construcción de un prototipo a escala de seguidor solar. En Trabajo de fin de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. p. 1-77. (En línea). Consultado, 08 de Abr. 2020. Formato: PDF. Disponible en http://oa.upm.es/47666/1/TFG_%20ALEJANDRO_JOSE_FRANCISCO_ZEA_BENITEZ.pdf
- Zornoza, A. (2015). Desalinización de agua dep mar. (En línea). Consultado, 05 de Jul. 2019. Formato: PDF. Disponible: en https://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria23/feria124_05_desalinizador_de_agua_de_mar.pdf

ANEXOS

Anexo1. Estación meteorológica PUCE-Bahía de Caráquez



Anexo 2. Datos climáticos del año 2011

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 68,8 | 79,6 | 29,6 | 17,5 | 16,11 |
| FEBRERO | 140,3 | 102,2 | 30,6 | 17,6 | -22,84 |
| MARZO | 191,1 | 19 | 31,4 | 16,7 | 16,11 |
| ABRIL | 157,5 | 39,6 | 31,5 | 16,6 | 19,6 |
| MAYO | 144,1 | 0 | 30,7 | 16,5 | 16,11 |
| JUNIO | 61,3 | 4,2 | 29,9 | 19,3 | 19,6 |
| JULIO | - | 0 | 30 | 22 | 16,11 |
| AGOSTO | - | 0 | 28,7 | 21,3 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 70,3 | 0 | 29,1 | 20,2 | 19,6 |
| OCTUBRE | 83,8 | 3,2 | 28,6 | 20,7 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 112,6 | 0 | 28,9 | 19,6 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 103,6 | 0 | 31,2 | 20,1 | 16,11 |

Anexo 3. Datos climáticos del año 2012

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 61,1 | 241,5 | 29,6 | 21,2 | 16,11 |
| FEBRERO | 123,3 | 335,2 | 29,8 | 21,1 | -9,23 |
| MARZO | 164,3 | 239,6 | 30,7 | 21,4 | 16,11 |
| ABRIL | 150,5 | 28,6 | 31,3 | 20,2 | 19,6 |
| MAYO | 159,1 | 27,3 | 31,5 | 19,8 | 16,11 |
| JUNIO | 97 | 34,2 | 30,1 | 19,8 | 19,6 |
| JULIO | 85 | 0 | 29,3 | 19,2 | 16,11 |
| AGOSTO | 76,8 | 0 | 29,1 | 19,6 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 91,1 | 0 | 29,4 | 19,5 | 19,6 |
| OCTUBRE | 72 | 0,2 | 29,3 | 20 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 71,2 | 0,1 | 29,8 | 20,3 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 115,9 | 0 | 30,6 | 21,5 | 16,11 |

Anexo 4. Datos climáticos del año 2013

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 24,1 | 200,7 | 29,3 | 22,4 | 16,11 |
| FEBRERO | 90,8 | 82,7 | 30,2 | 21,6 | -22,84 |
| MARZO | 102,7 | 219,4 | 30,3 | 22 | 16,11 |
| ABRIL | 96,6 | 44,7 | 30,4 | 20,6 | 19,6 |
| MAYO | 79,7 | 2,9 | 29,2 | 19,6 | 16,11 |
| JUNIO | 44,9 | 1,1 | 28,6 | 18,5 | 19,6 |
| JULIO | 44,6 | 0 | 28,2 | 18,3 | 16,11 |
| AGOSTO | 81,5 | 0 | 28,8 | 17,8 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 93,7 | 0,2 | 29,2 | 17,3 | 19,6 |
| OCTUBRE | 68,3 | 7,9 | 28,2 | 18,2 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 96,8 | 1,3 | 29,9 | 18,2 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 121,9 | 3,1 | 29,8 | 19,2 | 16,11 |

Anexo 5. Datos climáticos del año 2014

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 59,1 | 108,4 | 32,2 | 20 | 16,11 |
| FEBRERO | 83,6 | 78,1 | 32,2 | 21 | -22,84 |
| MARZO | 142,1 | 118 | 34 | 20,4 | 16,11 |
| ABRIL | 84,9 | 44,3 | 33,2 | 20,4 | 19,6 |
| MAYO | 123,7 | 31,6 | 32,4 | 19,4 | 16,11 |
| JUNIO | 92,8 | 1,1 | 30,5 | 16,5 | 19,6 |
| JULIO | 108,6 | 0 | 28 | 19,8 | 16,11 |
| AGOSTO | 101,6 | 0 | 31,8 | 19 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 68,4 | 0 | 26,2 | 19,6 | 19,6 |
| OCTUBRE | 72,7 | 0 | 26 | 19 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 78,4 | 0 | 31 | 15,8 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 62,4 | 3,1 | 32 | 15,5 | 16,11 |

Anexo 6 Datos climáticos del año 2015

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 59,1 | 42,8 | 32,2 | 20 | 16,11 |
| FEBRERO | 0 | 142,2 | 28,4 | 20,8 | -22,84 |
| MARZO | 0 | 37,1 | 29,2 | 20,8 | 16,11 |
| ABRIL | 107,6 | 54,1 | 31,5 | 19 | 19,6 |
| MAYO | 101,6 | 0 | 32,4 | 20,2 | 16,11 |
| JUNIO | 0 | 142,2 | 28,4 | 20,8 | 19,6 |
| JULIO | 108,6 | 0 | 28 | 20,2 | 16,11 |
| AGOSTO | 102,1 | 0,3 | 31,5 | 18,5 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 68,4 | 0 | 34,8 | 17,8 | 19,6 |
| OCTUBRE | 72,7 | 0 | 32,6 | 19 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 78,4 | 0 | 32 | 19,2 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 69 | 0 | 34 | 15 | 16,11 |

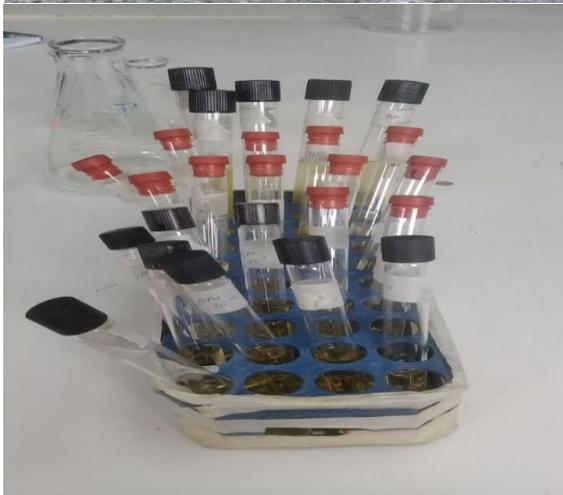
Anexo 7. Datos climáticos del año 2017

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 111,1 | 64,8 | 33,6 | 18 | 16,11 |
| FEBRERO | 103,3 | 125,1 | 32 | 17 | -22,84 |
| MARZO | 142,1 | 140 | 34 | 19,4 | 16,11 |
| ABRIL | 176,3 | 236,2 | 33,2 | 18 | 19,6 |
| MAYO | 101,6 | 74,7 | 33,8 | 18,2 | 16,11 |
| JUNIO | 92,8 | 18,4 | 32,2 | 15,6 | 19,6 |
| JULIO | 123,7 | 0 | 31,2 | 16 | 16,11 |
| AGOSTO | 101,6 | 0 | 31,8 | 13 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 71,2 | 0,3 | 31,3 | 16 | 19,6 |
| OCTUBRE | 75,3 | 0 | 31,5 | 16,4 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 91,7 | 0 | 31,4 | 17 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 77,9 | 0 | 32 | 18 | 16,11 |

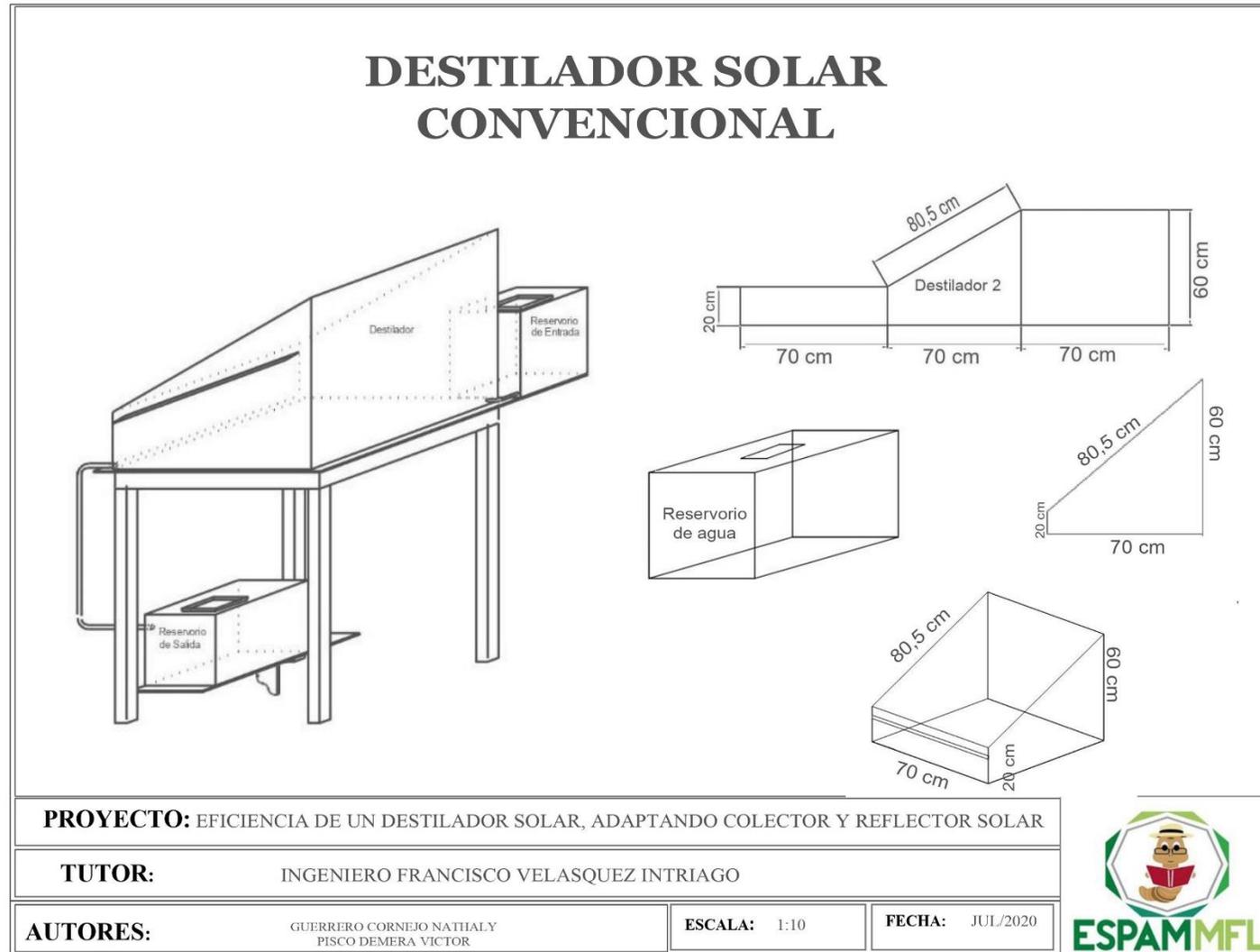
Anexo 8. Datos climáticos del año 2018

| MESES | HELIOFANÍA | PRECIPITACIÓN | TEMPERATURA EXTREMA | | Declinación solar por mes |
|------------|------------|---------------|---------------------|------|---------------------------|
| | | | MAX | MIN | |
| ENERO | 109,1 | 62,6 | 33,1 | 19 | 16,11 |
| FEBRERO | 99,3 | 130 | 33 | 18 | -22,84 |
| MARZO | 122,1 | 135,5 | 33,3 | 19,2 | 16,11 |
| ABRIL | 177,1 | 220,2 | 32 | 18,3 | 19,6 |
| MAYO | 110,5 | 69,1 | 33,5 | 18 | 16,11 |
| JUNIO | 85,7 | 20,7 | 31,5 | 16 | 19,6 |
| JULIO | 113,2 | 0 | 31,7 | 16,9 | 16,11 |
| AGOSTO | 110,1 | 0 | 31,3 | 14,8 | 16,11 |
| SEPTIEMBRE | 75,9 | 0,2 | 31,5 | 17 | 19,6 |
| OCTUBRE | 75,3 | 0 | 31,4 | 16,9 | 16,11 |
| NOVIEMBRE | 95,8 | 0,3 | 31,2 | 19 | 19,6 |
| DICIEMBRE | 72,1 | 0 | 32 | 18 | 16,11 |

Anexo 1. Realización de análisis pre y post destilación físico químico y microbiológicos.



Anexo 11. Diseño del sistema de destilación convencional



Anexo 12. Construcción de los sistemas de destilación y colector**Anexo 13. Sistema de destilación solar con adaptaciones y convencional.**

Anexo 14. Procesos de destilación de los sistemas empleados