

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
SECCIÓN DE FÍSICA



INFORME FINAL DEL CURSO DE ESPECIALIZACION:
ENERGÍAS RENOVABLES

TITULO DEL INFORME FINAL:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR PORTATIL PARA
POTABILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA RECOLECTADA DE JUNIO- AGOSTO, 2025

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:
LICENCIATURA EN FISICA

PRESENTADO POR:
CLARA GUADALUPE BATRES MAZARIEGO No. CARNÉ BM15038

DOCENTE ASESOR:
LICDA. ASTRID PATRICIA ALFARO

SEPTIEMBRE DE 2025
CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES



M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA

RECTOR

DRA. EVELYN BEATRIZ FARFÁN

VICERRECTORA ACADÉMICA

M.SC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

SECRETARIO GENERAL

LICDA. ANA RUTH AVELAR

DEFENSORA DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

LIC. CARLOS AMILCAR SERRANO RIVERA

FISCAL GENERAL

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

AUTORIDADES



M.SC. CARLOS IVÁN HERNÁNDEZ FRANCO

DECANO

DRA. NORMA AZUCENA FLORES RETANA

VICEDECANA

LIC. CARLOS DE JESÚS SÁNCHEZ

SECRETARIO

MTRO. EVER ANTONIO PADILLA LAZO

DIRECTOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

ING. DOLORES BENEDICTO SARAVIA MARTÍNEZ

DIRECTOR DE LA ESCUELA O JEFE DE DEPARTAMENTO

LIC. YIMI JOSUÉ PERLA ROSA

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

Indice

Resumen	1
Abstract.....	2
1. Introducción	3
1.1 Funcionamiento de un destilador solar	3
1.2 Calidad y Marco Legal del Agua en El Salvador	5
2. Metodología	6
2.1 Diseño estructural, selección de materiales y monitoreo del destilador	6
2.2 Procedimiento Experimental.....	8
2.2.1. Recolección de agua de lluvia, medición y manejo de muestras	9
2.2.2 Medición de variables térmicas y ambientales	10
2.2.3 Evaluación del desempeño del destilador solar.....	10
2.2.4 Evaluación de la calidad del agua	11
3. Resultados y Discusión.....	14
Prueba del Destilador al Vacío (28/7/2025).....	14
Destilación 1 (3/8/2025).....	16
Destilación 2 (4/8/2025).....	18
Destilación 3 (7/8/2025).....	20
Comparativo de Comportamiento Térmico del Destilador en Días de Prueba	22
Comparativo de Desempeño del Destilador Solar en Días de Prueba	23
Análisis físico-químico	23
Análisis microbiológico	25
Limitaciones	27
4. Conclusiones	28
5. Recomendaciones	29
Referencias.....	31
Anexos.....	33

Resumen

El objetivo de la investigación fue diseñar y construir un destilador solar portátil para potabilizar agua lluvia recolectada entre junio y agosto 2025 en San Miguel, El Salvador. El dispositivo se fabricó con materiales de bajo costo (bandeja de acero inoxidable como superficie de evaporación, cubierta de vidrio templado y canal de recolección). Se analizaron variables térmicas del destilador (temperaturas internas, del agua y del vidrio) y humedad relativa con sensores especializados. El sistema alcanzó temperaturas internas máximas entre 75–89 °C, con un gradiente de temperatura sostenido de 20–35 °C entre el aire interior y el vidrio, condición que favoreció la condensación. La producción diaria de agua destilada osciló entre 140–150 mL en días parcialmente nublados y 260 mL en día despejado, a partir de 2.7 L de agua lluvia. En términos de la eficiencia global de recuperación del sistema el porcentaje de agua convertida en destilada fue cercano al 5 % en cielo nublado y alcanzó 9.6 % en condiciones despejadas; al relacionar la producción con el área del destilador, se obtuvo un rendimiento de 0.5–0.7 hasta 1.25 L·m⁻²·día⁻¹. La tasa de producción promedio aumentó (0.02→0.037 L/h). El análisis microbiológico cualitativo (siembra por estría en placa con medios selectivos/diferenciales) evidenció crecimiento compatible con coliformes en agua de lluvia sin tratar y ausencia de crecimiento en el destilado, indicando cumplimiento del criterio microbiológico de 0 UFC/100 mL según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08. En el análisis físico-químico, la conductividad y los sólidos totales disueltos (TDS) del destilado se mantuvieron muy por debajo de los límites normativos, aunque el pH fue ácido (4.7–5.1). Por tanto, el prototipo demostró ser una alternativa viable, sostenible y replicable para producir agua microbiológicamente segura a partir de agua de lluvia, contribuyendo a la seguridad hídrica del país utilizando energía solar térmica.

Palabras clave: temperatura, humedad, destilador solar, agua lluvia, condensación, agua destilada, análisis físico-químico, análisis microbiológico, energía solar térmica.

Abstract

The objective of this research was to design and build a portable solar still to purify rainwater collected between June and August 2025 in San Miguel, El Salvador. The device was constructed with low-cost materials (a stainless-steel tray as the evaporation surface, tempered glass cover, and collection channel). Thermal variables of the still (internal, water, and glass temperatures) and relative humidity were monitored with specialized sensors. The system reached maximum internal temperatures between 75–89 °C, with a sustained temperature gradient of 20–35 °C between the internal air and the glass, a condition that favored condensation. Daily distilled water production ranged from 140–150 mL on partly cloudy days to 260 mL on a clear day, from an initial 2.7 L of rainwater. In terms of efficiency, the percentage of water converted into distillate was close to 5 % under cloudy conditions and reached 9.6 % in clear skies; when related to the still's area, yields ranged from 0.5–0.7 up to 1.25 L·m⁻²·day⁻¹. The average production rate increased (0.02→0.037 L/h). Qualitative microbiological analysis (streak plate method using selective/differential media) showed growth compatible with coliforms in untreated rainwater and no growth in the distillate, meeting the microbiological criterion of 0 CFU/100 mL established by the Salvadoran Mandatory Standard NSO 13.07.01:08. In the physicochemical analysis, conductivity and total dissolved solids (TDS) of the distillate remained well below regulatory limits, although pH was acidic (4.7–5.1). Therefore, the prototype proved to be a viable, sustainable, and replicable alternative to produce microbiologically safe water from rainwater, contributing to the country's water security through solar thermal energy.

Keywords: Temperature, humidity, solar still, rainwater, condensation, distilled water, physicochemical analysis, microbiological analysis, solar thermal energy.

1. Introducción

El Sol emite energía en forma de radiación electromagnética, la cual puede ser captada y transformada en energía térmica para diversos usos, incluyendo la destilación de agua.

Los destiladores solares son dispositivos que aprovechan la radiación solar para producir agua potable a partir de fuentes como agua de mar, agua salobre o cualquier tipo de agua contaminada (Fernández Zayas & Chargoy Del Valle, 2018). Se caracterizan por su bajo costo, facilidad de construcción y sostenibilidad ambiental, ya que no requieren electricidad ni combustibles fósiles, a diferencia de los sistemas de destilación convencionales, los cuales suelen operar mediante calentamiento eléctrico o a base de combustión, utilizando energía no renovable para evaporar y condensar el agua. (Torres Martín & Mejía Moncayo, 2016)

Su rendimiento depende de diversos factores interrelacionados, como la temperatura ambiente e interna del sistema, la radiación solar incidente, la humedad relativa del entorno (Córdova Mendoza, y otros, 2023), el ángulo de inclinación del vidrio que idealmente debe coincidir con la latitud local (Bons, 2005), y las propiedades térmicas de los materiales empleados.

Los materiales más utilizados en la construcción de destiladores solares son el aluminio, la madera y el hierro galvanizado (T. Alwan, y otros, 2024). Asimismo, se recomienda emplear una base de color negro por su alta capacidad de absorción térmica, así como una cubierta de vidrio transparente con un espesor de 4 mm aproximadamente debido a su elevada transmitancia de luz, maximizando la eficiencia del proceso de destilación. (Hermosillo Villalobos, 1989).

1.1 Funcionamiento de un destilador solar

Los destiladores solares funcionan replicando los principios del ciclo hidrológico natural en un entorno cerrado. Este proceso se basa en fenómenos físicos como la evaporación, la condensación y la transferencia de calor. La radiación solar atraviesa la cubierta transparente del dispositivo e incide sobre una superficie absorbente, la cual transfiere el calor a la muestra

de agua contenida en el interior. La energía térmica recibida eleva progresivamente la temperatura del agua, provocando su vaporización mediante el efecto invernadero. Este vapor, libre de impurezas y microorganismos, asciende hasta una superficie más fría (generalmente la cara interna de la tapa), donde se condensa y libera el calor latente. Finalmente, el agua condensada es recolectada por un canal inclinado y almacenada en un recipiente separado. Durante el proceso intervienen principalmente tres mecanismos de transferencia de calor: convección, radiación y vaporización, siendo este último el más determinante para la eficiencia del sistema. (T. Alwan, y otros, 2024).

La importancia de estos sistemas se vuelve aún más evidente al considerar la situación hídrica. El acceso a agua potable es un desafío global y constituye uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible definidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Se estima que para 2050, más de la mitad de la población mundial vivirá en áreas con escasez de agua, y alrededor de 5 mil millones de personas (dos tercios de la población) enfrentarán falta de agua al menos un mes al año. (Cusick, 2022) En El Salvador, aproximadamente 68 % del agua superficial está contaminada y unas 500,000 personas carecen de acceso seguro a agua potable (Forbes Staff, 2025). En muchas comunidades, la obtención de agua implica comprarla a altos costos o transportarla desde fuentes lejanas, generando riesgos sanitarios y un impacto económico considerable.

En contextos rurales o marginados sin acceso a sistemas convencionales de agua potable, el agua de lluvia puede constituir una alternativa viable, siempre que se someta a procesos de potabilización adecuados, incluyendo exposición al Sol por al menos seis horas y limpieza apropiada de los materiales filtrantes (Hernández Avilés, 2020)

Esta situación resalta la necesidad de soluciones accesibles y sostenibles, como los destiladores solares, que permiten obtener agua segura para consumo humano. En este marco, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar y construir un prototipo portátil de destilador solar para potabilizar agua lluvia, evaluando su calidad mediante parámetros físico-

químicos y microbiológicos según normativas, contribuyendo a mitigar la crisis hídrica en comunidades vulnerables en El Salvador.

1.2 Calidad y Marco Legal del Agua

En El Salvador, la gestión del agua está regulada principalmente por la Ley General de Recursos Hídricos (Asamblea Legislativa de El Salvador, 2022) y la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 sobre agua potable (CONACYT, 2008). Respecto a la calidad del agua, la norma establece límites permisibles para parámetros microbiológicos, físicos y químicos que debe cumplir el agua potable, incluyendo:

- **Microbiológicos:** ausencia total de coliformes totales y *Escherichia coli* (0 UFC/100 ml)¹, indicadores esenciales de contaminación biológica y fecal.
- **Parámetros físico-químicos:** pH² entre 6.0 y 8.5 para evitar corrosividad; turbidez ≤ 5 UNT³ (preferentemente ≤ 1 UNT en agua tratada); color verdadero ≤ 15 Pt-Co⁴; sólidos totales disueltos (TDS) inferiores a 1,000 mg/l⁵; características organolépticas (olor y sabor) aceptables.
- **Contaminantes químicos críticos:** nitratos ≤ 45 mg/l y nitritos < 1.0 mg/l, dada su toxicidad especialmente en lactantes; fluoruro ≤ 1.0 mg/l para prevenir fluorosis dental y efectos óseos adversos.
- **Metales traza:** plomo y arsénico con concentraciones máximas de 0.01 mg/l, debido a su potencial neurotoxicidad y carcinogenicidad.

Además de los parámetros normativos, otros indicadores esenciales para evaluar la eficiencia de un destilador solar y la pureza del agua obtenida son:

¹ UFC: Unidades formadoras de colonias. Método microbiológico para estimar la cantidad de bacterias viables presentes en una muestra.

² Medida de la acidez o alcalinidad de una solución, en una escala de 0 a 14.

³ UNT: Unidades nefelométricas de turbidez. Miden la cantidad de partículas en suspensión mediante la dispersión de luz.

⁴ Pt-Co: Unidades de color Platino-Cobalto. Escala estandarizada para cuantificar el color verdadero del agua.

⁵ mg/l: Miligramos por litro

- Conductividad eléctrica (CE): mide la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica en función de la concentración de iones disueltos. Para agua potable, valores típicos deben estar por debajo de $1,500 \mu\text{S}^6/\text{cm}$. (B. Baird, D. Eaton, & W. Rice, 2017)
- Salinidad: indica la concentración total de sales disueltas (cloruros, sulfatos, carbonatos, sodio, calcio, magnesio). La salinidad se refiere a la concentración de sales en el agua o el suelo. La salinidad aceptable del agua dulce es inferior a $0,5 \text{ g/L}$ (Asim Siddiqui, y otros, 2023). (Fondriest Environmental, 2014)
- Resistividad: proporcional a la conductividad eléctrica, funciona como un indicador de pureza; valores altos reflejan baja concentración iónica. Para agua potable, los valores típicos oscilan entre $2\text{--}50 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$. (Apure, 2024)

2. Metodología

2.1 Diseño estructural, selección de materiales y monitoreo del destilador

Se construyó un prototipo tipo caseta de pendiente única, elegido por su simplicidad estructural y portabilidad. Los materiales fueron seleccionados considerando su disponibilidad local, resistencia a altas temperaturas, capacidad aislante y baja toxicidad (ver Tabla 1). La base se fabricó con madera de pino, y las paredes laterales e inferior se recubrieron internamente con durapax como aislante térmico de $1/2''$ y $1''$ de grosor, respectivamente; lo cual contribuyó a conservar el calor dentro del sistema. La cubierta transparente se elaboró con vidrio templado de 4 mm , con una inclinación de 15° . En la pared trasera interna se incorporó un espejo plano de 30 cm de alto, con el propósito de reflejar los rayos solares hacia la base del colector y mejorar así el calentamiento del agua. Para la entrada del agua lluvia, se utilizó un tubo CPVC de $3/4''$ (19 mm) con codo y un tapón hembra. Para recolectar el líquido condensado, se utilizó un canal de acero inoxidable de $1 1/4''$ de diámetro, tipo "U" cortado longitudinalmente a la mitad, instalado en la base del vidrio inclinado. Este canal condujo el

⁶ μS (microsiemens): Unidad de conductividad eléctrica (10^{-6} S), usada en agua como $\mu\text{S}/\text{cm}$ para indicar concentración de sales disueltas.

agua destilada hacia el recolector externo. Para el monitoreo se utilizó un sensor FY-12 para registrar la humedad relativa y la temperatura interna del destilador; un sensor LM35 y un termopar tipo K para la medición complementaria de la temperatura interna; y termopares tipo K adicionales conectados a un multímetro digital para registrar la temperatura del vidrio y del agua contenida en la bandeja. La temperatura y humedad ambientales se midieron mediante la estación meteorológica portátil Kestrel 4000 Pocket Weather Tracker. Para el análisis se definieron las siguientes variables: H_{int} (Humedad interna registrada), H_{ext} (Humedad externa), $T_{int s}$ (temperatura interna registrada por FY-12), $T_{int LM35}$ (temperatura interna registrada por LM35), $T_{int m}$ (temperatura interna registrada por termopar K), T_{ag} (temperatura del agua en la bandeja), T_v (temperatura del vidrio) y T_{ext} (temperatura exterior). A continuación, se muestran la disposición de los componentes, las dimensiones generales del prototipo y la ubicación de los elementos de monitoreo.

Figura 1

Diseño y componentes del destilador solar: vista frontal y lateral del prototipo.



La información sobre las dimensiones, materiales, costos del prototipo y el sistema de medición se presenta en las Tablas incluidas en los Anexos 1, 2 y 3, respectivamente.

2.2 Procedimiento Experimental

El prototipo fue instalado en la ciudad de San Miguel, a una latitud de (13.46661° N, 88.16482° W). Se orientó hacia el sur con el objetivo de optimizar la captación solar entre las 8:00 a. m. y las 3:00 p. m., periodo en el cual se desarrolló el experimento. Se verificó que la base del equipo estuviera correctamente nivelada y firmemente fijada, con el fin de evitar desplazamientos por acción del viento y garantizar una exposición continua, libre de sombras u obstáculos. En cada destilación se precalentó el sistema 5 minutos antes de introducir el agua lluvia a destilar.

Figura 2

Ubicación del estudio

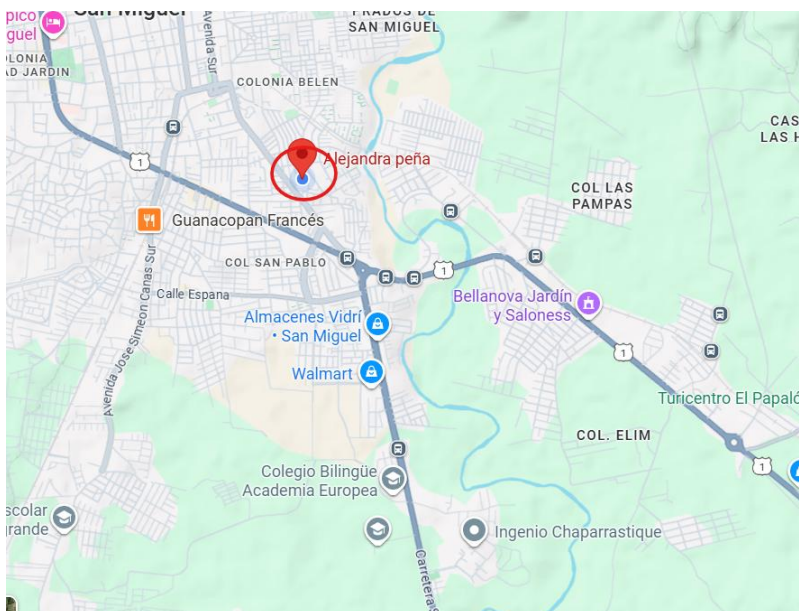


Imagen de <https://maps.app.goo.gl/pE2Y9WYcHzPdN65J7>

Figura 3

Montaje experimental, destilador solar



2.2.1. Recolección de agua de lluvia, medición y manejo de muestras

El agua de lluvia fue recolectada en un recipiente con capacidad de 2 galones. Se trabajó con tres muestras distintas, una muestra se mantuvo almacenada por un período de hasta 22 días, otra durante un máximo de 21 días, y una tercera por un período no mayor a 19 días antes de ser procesadas. Cada volumen fue medido con una probeta graduada de 1000 ml, se introdujeron 2700 ml por día de destilación.

Al finalizar el proceso de destilación, las muestras de agua destilada fueron manejadas bajo un protocolo básico que incluyó: recolección inmediata, almacenamiento en vasos copros estériles de 100 ml y etiquetados, cierre hermético y conservación en refrigeración, protegidas de la luz solar directa hasta su análisis. Esto permitió preservar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua tratada sin alteraciones posteriores.

Figura 4

Condensación de agua en cubierta del destilador



2.2.2 Medición de variables térmicas y ambientales

Durante los días de operación, se monitoreo la temperatura y la humedad interna del destilador, así como la temperatura del vidrio y del agua, tal como se describió en el apartado de Diseño estructural. Las mediciones se realizaron entre las 8:00 a. m. y 3:00 p. m.

Información clave para evaluar el comportamiento térmico del sistema en condiciones reales de operación. La irradiación solar es una variable que no se logró incorporar en el análisis debido a que las estaciones telemétricas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales cercanas al sitio de estudio actualmente no registran valores reales. Asimismo, la estación meteorológica portátil utilizada no cuenta con un sensor de irradiancia solar.

2.2.3 Evaluación del desempeño del destilador solar

La evaluación del desempeño del destilador se realizó considerando parámetros de productividad ampliamente utilizados en diversos estudios como:

- Tasa promedio de producción (TP): corresponde al volumen de agua destilada obtenido por hora de operación (L/h), es útil para valorar el rendimiento del dispositivo y detectar posibles mejoras (Wiener, Zaman Khan, & Shah, 2024). Se expresa como:

$$TP = \frac{V_{prod}}{t} \quad (ec.1)$$

- Productividad: se expresa como el volumen de agua destilada (V_{prod}) por unidad de superficie ($L/m^2 \cdot día$), es un indicador del aprovechamiento del área disponible. (Hakim S. Sultan Aljibori, 2022), (Córdova Barrios , Barrios Mendoza, & Córdova Mendoza, 2021). Útil para estimar la producción de la bandeja y la producción de la cubierta de vidrio, se calcula mediante:

$$P = \frac{V_{prod}}{Ad} \quad (ec.2)$$

- Tasa de recuperación: permite evaluar la eficiencia global de recuperación del sistema al relacionar el volumen de agua destilada producida (V_{prod}) con el volumen de agua ingresada, constituye un indicador clave del desempeño del prototipo (NEWater, s.f.; ScienceDirect, s.f., Foundation, s.f.). Al multiplicar el resultado por 100, se obtiene el porcentaje de recuperación. Se define como:

$$R = \frac{V_{prod}}{V_i} \times 100 \quad (ec.3)$$

donde V_i es el volumen de agua ingresado al sistema.

2.2.4 Evaluación de la calidad del agua

La calidad del agua destilada se determinó mediante el apoyo institucional de la sección de Biología de la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental (UES-FMO), en conjunto con la Facultad de Química y Farmacia de la UES ubicada en sede central. Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos, utilizando los equipos y pruebas disponibles en ambos laboratorios.

Análisis Físico-Químico. Para la realización de los estudios físico-químicos, se utilizó el Medidor multiparamétrico portátil Thermo Scientific Orion Star™ A329⁷. Mediante un electrodo de conductividad de grafito; se determinó la resistividad, salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos. Y con un electrodo combinado de pH se midieron la concentración de

⁷ <https://www.fishersci.es/shop/products/orion-star-a329-ph-ise-conductivity-dissolved-oxygen-portable-multiparameter-meter/p-4529615>

iones y el pH. El equipo estuvo calibrado para trabajar con muestras a 20 °C, por lo que, durante su transporte a la facultad, las muestras se mantuvieron en una hielera para conservar la temperatura. Se evaluaron tanto las muestras de agua lluvia sin destilar como las de agua destilada correspondientes a cada día de muestreo. El análisis se realizó en el siguiente orden: primero las muestras de agua lluvia sin destilar y, posteriormente, las de agua destilada. Entre cada medición, el electrodo y la celda se enjuagaron con agua destilada para evitar contaminación cruzada.

Figura 5

Equipo de medición de parámetros físico-químicos



Figura 6

Equipo con celda de conductividad y electrodo de pH.



Análisis microbiológico. Se aplicó el método siembra por estría en placa con medios selectivos/diferenciales (Agar MacConkey, Agar Eosina Azul de Metileno (EMB) y Agar Salmonella-Shigella (SS), la lectura fue cualitativa (presencia/ausencia), no cuantitativa (sin UFC⁸). Cada placa fue previamente etiquetada con el nombre de la muestra (agua de lluvia destilada y agua de lluvia sin destilar) y la fecha correspondiente a la recolección y destilación. Posteriormente, se encendió el mechero Bunsen y se esterilizó el asa bacteriológica al rojo vivo. Tras enfriarla, se tomó una alícuota⁹ de la muestra y se depositó en la superficie del agar, distribuyéndola en estrías sucesivas con el fin de obtener colonias aisladas para su observación.

Figura 7

Siembra de muestras en medios MacConkey, EMB y SS mediante asa bacteriológica.



⁸ Unidades Formadoras de Colonias: Es la forma estándar de cuantificar bacterias u otros microorganismos viables en una muestra.

⁹ Parte proporcional. En pocas palabras es una muestra, que representa las características del resto.

En cada medio de cultivo se repitió el mismo procedimiento, siempre esterilizando el asa antes de pasar a otra placa para evitar contaminación cruzada. Finalmente, las placas se cerraron, y se incubaron a 36°C. La lectura se realizó a las 48 horas en MacConkey, EMB y SS, registrando los resultados del crecimiento bacteriano en cada muestra.

Figura 8

Placas colocadas en incubadora a 36 °C para el crecimiento bacteriano



3. Resultados y Discusión

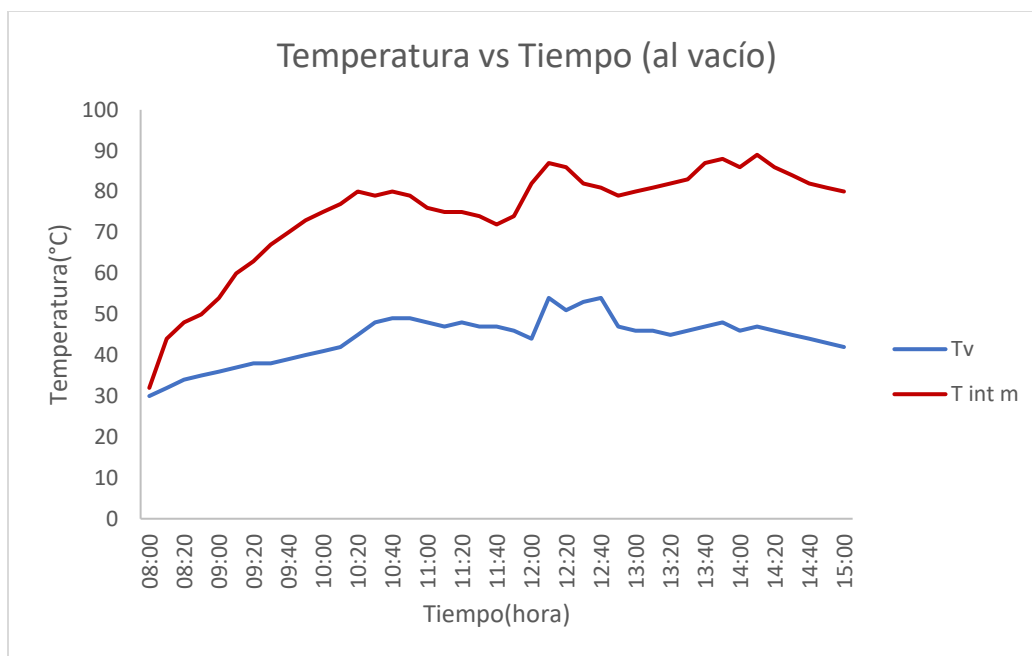
A continuación, se presentan y discuten los resultados por día de operación para el destilador solar, así como los hallazgos físico-químicos y microbiológicos.

Prueba del Destilador al Vacío (28/7/2025)

La figura 9 muestra los valores de la temperatura interna y temperatura del vidrio del destilador durante el ensayo al vacío. Ver tabla en anexos 4.

Figura 9

Valores de temperatura vs tiempo de operación del destilador al vacío



El gráfico mostró un ascenso inicial de la temperatura interna entre 08:00 h y 10:20 h (de 32 a 80 °C), una breve estabilidad de temperatura entre 79–80 °C de 10:30 h–10:40 h, seguida de un descenso suave de 10:40–11:10 (80→75 °C), y un incremento que culminó en el máximo de 89 °C a las 14:10 (temperatura de estancamiento); hacia las 15:00 la curva cerró en 80 °C. En el tramo de 10:20–15:00, el vidrio se mantuvo más frío, $\approx 45\text{--}47$ °C (bajando a ~ 42 °C hacia el cierre), dejando un gradiente interior–vidrio de 20–42 °C. El gradiente térmico promedio entre las curvas evidenció un gradiente sostenido del orden de 30–35 °C entre la parte interna del destilador y la cubierta de vidrio.

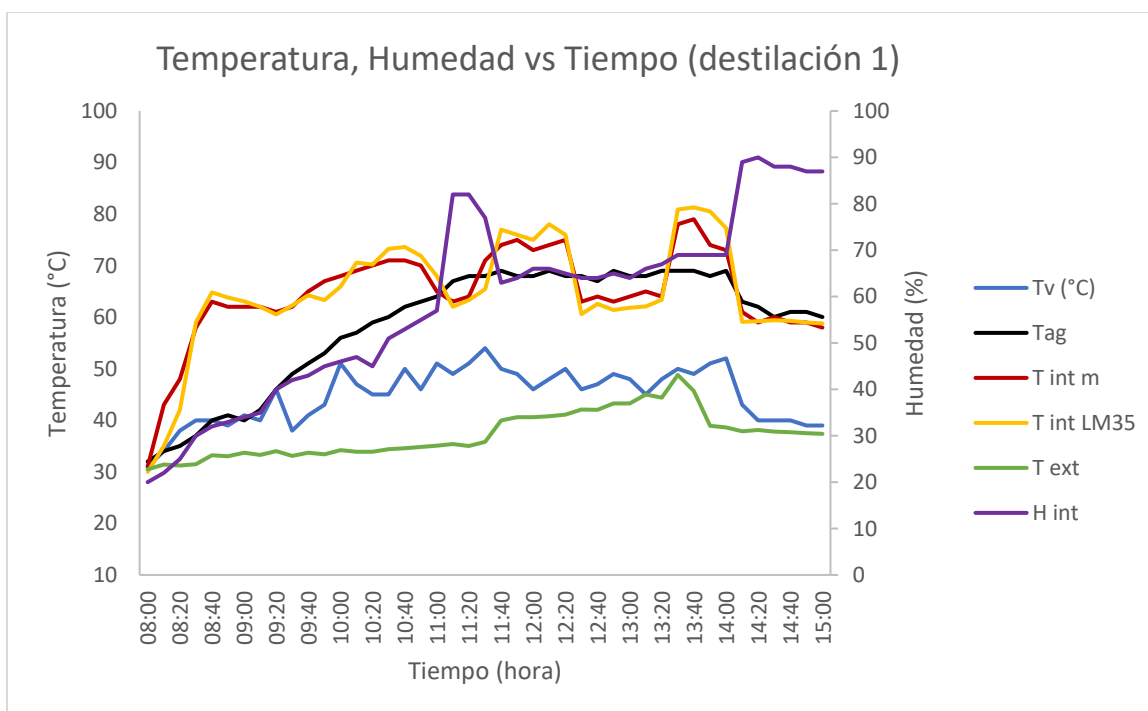
Esto evidenció que la cubierta actuó como superficie fría; reflejó buena captación, retención de calor y pérdidas moderadas del conjunto (aislamiento y sellos adecuados). Al ser una prueba sin agua, el comportamiento fue exclusivamente térmico; no se evaluó producción ni tasa de goteo. Condiciones climáticas: Día totalmente despejado, incidencia solar óptima.

Destilación 1 (3/8/2025)

Condiciones climáticas: Día parcialmente nublado, con una mañana templada y húmeda, un mediodía muy cálido y seco, y una tarde más fresca y bochornosa. La temperatura exterior inició en 30.5 °C con 55 % de humedad; alcanzó un máximo de 48.8 °C (13:30 h) con la humedad más baja del día (26–33 %) y finalmente descendió a 37–38 °C, y la humedad entre 87–90 %. La Figura 10 muestra los registros de temperatura interna, externas, del vidrio, del agua depositada y la humedad interna del destilador con agua lluvia durante la destilación 1. Ver tabla en anexos 5.

Figura 10

Valores de temperaturas vs tiempo de operación

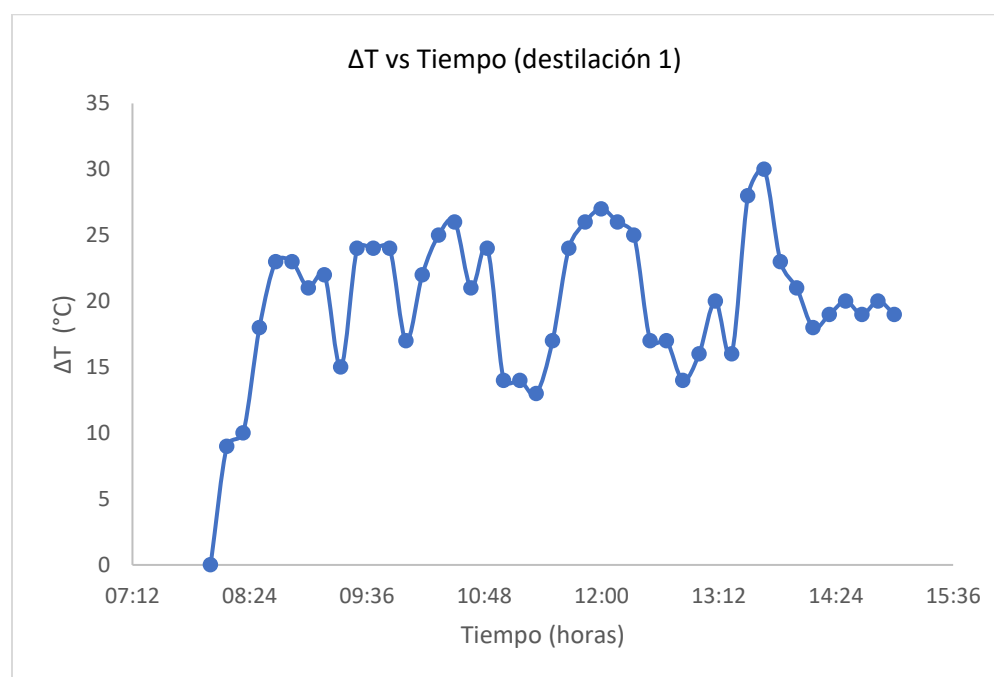


La temperatura interna alcanzó un máximo de 79 °C, mientras que la cubierta de vidrio se mantuvo más fría, condición que aseguró la función de condensador. La temperatura del agua, por su parte, aumentó desde 32 °C en las primeras horas de la mañana hasta

estabilizarse en torno a 67-70 °C entre las 11:00 y 14:00 h, actuando como el principal reservorio térmico y fuente de vapor. Este comportamiento evidencia que, aunque el agua no alcanzó el mismo nivel de la temperatura interna del aire, su calentamiento sostenido garantizó una evaporación constante. La humedad interna aumentó progresivamente de 20 % a 90 %, favoreciendo la saturación del aire y creando condiciones para la condensación en la cubierta.

Figura 11

Gradiente de temperatura interior-vidrio ΔT



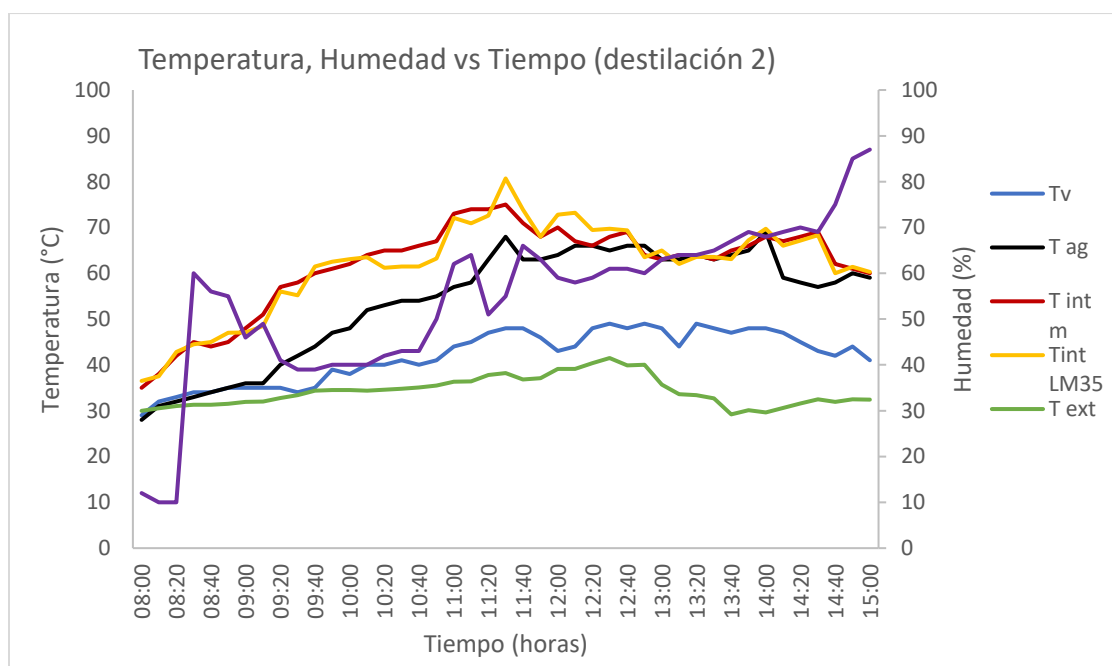
La Figura 11 detalla la evolución del gradiente de temperatura interior-vidrio (ΔT). Al inicio (08:00) fue de 0 °C, alcanzando rápidamente valores de 21–24 °C que se mantuvieron de forma estable en las primeras horas de operación. Se observaron descensos puntuales de 13–14 °C y un máximo de 30 °C hacia las 13:40 h. En la fase final, el gradiente se estabilizó alrededor de 19–20 °C. El hecho de que ΔT se mantuviera positivo desde las 08:10 h confirma que el vidrio permaneció más frío que el aire interno, garantizando el proceso de condensación.

Destilación 2 (4/8/2025)

Condiciones climáticas: Día nublado, con menor incidencia solar directa. En la mañana, la temperatura exterior inició en 30 °C con 70 % de humedad. Hacia el mediodía se alcanzó un máximo de 41.5 °C (12:30 h), mientras la humedad descendió a valores de 40–45 %. En la tarde, la temperatura bajó a 32–33 °C y la humedad aumentó progresivamente desde 12% hasta 90–98 %, registrándose precipitación alrededor de las 15:00 h. La Figura 12 muestra los registros de temperatura interna, externas, del vidrio, del agua depositada y la humedad interna del destilador con agua lluvia durante la destilación 2. Ver tabla en anexos 6.

Figura 12

Valores de temperaturas y humedad vs tiempo de operación



La temperatura interna alcanzó un máximo de 75 °C, mientras que la cubierta de vidrio se mantuvo entre más fría, condición que aseguró la función de condensador. La temperatura del agua en la bandeja aumentó de forma progresiva desde 28 °C (08:00 h) en la mañana hasta situarse en el rango de 63–69 °C entre las 11:40 y 14:00 h garantizando un aporte

constante de vapor al interior del destilador. La humedad interna aumentó progresivamente de 12 % (08:00 h) en la mañana hasta 98 % al final de la jornada (14:20), lo que favoreció la saturación del aire.

Figura 13

Gradiente de temperatura interior-vidrio ΔT



La Figura 13 detalla la evolución del gradiente aire-vidrio (ΔT). Desde el arranque (08:00 h) se mantuvo positivo con 6 °C, aumentando progresivamente hasta 22–25 °C entre las 09:20 y 09:40 h. Posteriormente alcanzó su valor máximo de 29 °C hacia las 11:00–11:10 h. Entre las 11:40 h y 12:20 h descendió a 18–23 °C, mientras que hacia las 12:50–13:30 h se registró el valor mínimo de condensación sostenida (≈ 15 °C). En horas de la tarde se observó un repunte de 20–26 °C entre las 14:00 h y 14:30 h, para finalmente mantenerse en 17–19 °C al cierre (14:40–15:00 h). El hecho de que ΔT permaneciera positivo durante toda la operación

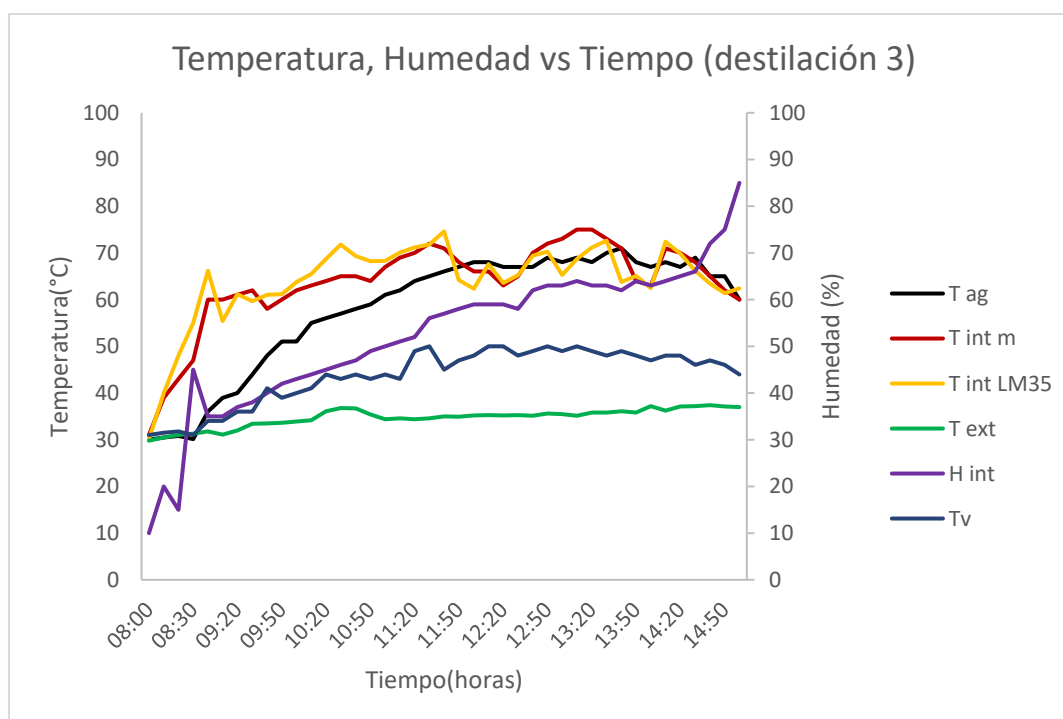
confirma que el vidrio estuvo más frío que el aire interno, condición que garantizó la condensación.

Destilación 3 (7/8/2025)

Condiciones climáticas: Día totalmente despejado, con mayor incidencia solar. En la mañana, la temperatura exterior inició en 29.8–31 °C con humedad de 68–76 %. Al llegar el mediodía, la temperatura alcanzó valores de 36–37 °C, mientras la humedad descendió a 47–51 %, generando un ambiente más cálido y seco. En la tarde, la temperatura se mantuvo estable alrededor de 37 °C y la humedad osciló entre 39–42 %, con ligeras variaciones hasta el cierre. La Figura 14 muestra los registros de temperatura interna, externas, del vidrio, del agua depositada y la humedad interna del destilador con agua lluvia durante la destilación 3. Ver tabla en anexos 7.

Figura 14

Valores de temperaturas y humedad vs tiempo de operación



La temperatura del agua en la bandeja inició en 30 °C (08:00 h) y se elevó progresivamente hasta situarse en el rango de 64–71 °C entre las 11:20 y 14:30 h, manteniéndose en niveles altos durante gran parte de la jornada. Posteriormente descendió gradualmente a partir de las 14:40 h, alcanzando 60 °C al cierre (15:00 h). La humedad interna aumentó desde 10 % en las primeras horas de la mañana hasta 85 % a las 15:00 h, lo que indicó un aire cada vez más saturado.

La temperatura interna ($T_{int m}$) alcanzó un máximo de 75 °C hacia las 13:10–13:20 h, mientras que la cubierta de vidrio permaneció más fría en todo momento. Condiciones de aire y agua calientes, vidrio más frío y humedad creciente establecieron un ambiente interno favorable para la condensación.

Figura 15

Gradiente de temperatura interior-vidrio ΔT



La Figura 15 detalló la evolución del gradiente aire-vidrio (ΔT). Desde las 08:10 h se mantuvo positivo, aumentando rápidamente hasta alcanzar valores de 25–26 °C entre las 09:00 y 09:30 h. Posteriormente, el gradiente se mantuvo mayormente en el rango de 20–23 °C, con

repuntes máximos de 25–26 °C hacia las 11:10–11:40 h y nuevamente entre las 13:10 y 13:30 h. A mediodía se observó un descenso transitorio, llegando a un mínimo de 13 °C a las 12:20 h, antes de recuperarse. En la fase final (13:40–15:00 h) el ΔT osciló entre 16 y 23 °C, con un repunte puntual de 23 °C a las 14:10 h. El gradiente positivo confirmó que el vidrio estuvo más frío que el aire interno, garantizando la condensación durante toda la jornada.

Comparativo de Comportamiento Térmico del Destilador en Días de Prueba

- Los tres días mostraron $\Delta T > 0$ (positivo) durante la mayor parte de la jornada, confirmando que el vidrio actuó como condensador.
- Comportamiento general para los tres días de operación, ΔT promedio: 03/08 \approx 19.8 °C; 04/08 \approx 19.7 °C; 07/08 \approx 20.0 °C.
- Instante favorable para condensación: ΔT máximo puntual: 03/08 = 30 °C (13:40); 04/08 = 29 °C (11:00h); 07/08 = 26 °C (09:00h).
- En los tres días el gradiente se mantuvo de forma sostenida principalmente en torno a 20–23 °C, con repuntes puntuales que alcanzaron 24–27 °C. Este rango estable reflejó la etapa de condensación más continua, más allá de los valores puntuales máximos.
- Los valores mínimos de ΔT (siempre positivos) para cada día fue: 03/08 = 9 °C; 04/08 = 6 °C; 07/08 = 7.5 °C. Indicando condensación débil o casi nula.
- ΔT mínimo propicio (inicio de condensación sostenida) coincidió con ΔT en torno a 16–18 °C: 03/08 \approx 18 °C (08:30 h), 04/08 \approx 16 °C (09:10 h), 07/08 \approx 16 °C (08:30 h). En conjunto, puede considerarse \approx 15 °C como el umbral práctico de referencia para el arranque de condensación.
- La temperatura máxima del aire interno ($T_{int\ m}$) alcanzó 79 °C el 03/08, y 75 °C tanto el 04/08 como el 07/08. Estas condiciones de aire interno caliente, junto a gradientes elevados, favorecieron la evaporación del agua y la posterior condensación en la cubierta.

Comparativo de Desempeño del Destilador Solar en Días de Prueba

La tabla 1 resume los resultados de las tres jornadas de prueba del destilador solar. Se incluyen los volúmenes de entrada (V_i), el volumen de destilado obtenido (V_{prod}), rendimiento respecto al volumen inicial (R), la productividad específica normalizada al área de vidrio y de la bandeja, y la tasa promedio de producción.

Estos indicadores permiten evaluar y comparar el desempeño del prototipo en condiciones de cielo parcial y despejado.

Tabla 1

Indicadores de desempeño del destilador solar portátil en tres días de prueba

Fecha	Cielo	V_i (L)	V_{prod} (L)	R (%)	Prod. vidrio ($L \cdot m^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	Prod. bandeja ($L \cdot m^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$)	Horas (h)	TP (L/h)
03/08/2025	Parcialmente nublado	2.7	0.150	5.56	0.543	0.721	7	0.0214
04/08/2025	Nublado	2.7	0.140	5.19	0.507	0.673	7	0.0200
07/08/2025	Despejado	2.7	0.260	9.63	0.942	1.250	7	0.0371

Los tres ensayos confirmaron que el destilador solar logra mantener recuperación en torno al 5 % en días parcialmente nublados (≈ 150 mL), mientras que en condiciones despejadas la recuperación se elevó a 9.6 % (260 mL). La productividad específica aumentó de $\sim 0.5\text{--}0.7 L \cdot m^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ a casi $1.25 L \cdot m^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ en cielo despejado, y la tasa de producción aumentó (0.02 \rightarrow 0.037 L/h).

Análisis físico-químico

La tabla 2 resume los parámetros evaluados para el análisis físico-químico:

Tabla 2*Calidad físico-química*

Fecha	Tipo	Cond ($\mu\text{S/cm}$) ≤ 1600	TDS (mg/L) ≤ 1000	Sal(g/L) ≤ 0.5	Resist ($\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$) ≥ 2	pH (6.0 – 8.5)	Conc.ion es (ppb)	Cumple químicame nte
03/08/25	Destilada	50.86	25.42	0.079	19.66	5.05	800	(pH bajo)
04/08/25	Destilada	79.54	39.48	0.091	12.57	4.72	2000	(pH bajo)
07/08/25	Destilada	45.59	22.84	0.077	21.93	4.91	1000	(pH bajo)
03/08/25	Lluvia	7.525	4.187	0.062	132.9	6.23	60	✓
04/08/25	Lluvia	6.298	3.586	0.062	158.8	6.52	30	✓
07/08/25	Lluvia	4.796	2.850	0.061	208.5	6.54	30	✓

Los resultados mostraron que:

- La conductividad eléctrica fue en promedio 9.5 veces mayor (58.7 $\mu\text{S/cm}$ en destilada frente a 6.21 $\mu\text{S/cm}$ en lluvia).
- Los sólidos disueltos totales (TDS) aumentaron unas 8.3 veces (29.3 mg/L en destilada frente a 3.54 mg/L en lluvia).
- La concentración iónica resultó hasta 31.7 veces superior (1267 ppb en destilada frente a 40 ppb en lluvia).
- La resistividad disminuyó en la destilada, en relación inversa al aumento de conductividad, confirmando mayor presencia de iones.
- El pH se redujo en promedio 1.5 unidades (6.43 en lluvia \rightarrow 4.93 en destilada), lo que equivale a un incremento de 31.6 veces en la actividad de H^+ .

Pese a estas variaciones, los valores de conductividad, TDS y resistividad se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 (CONACYT, 2008), garantizando inocuidad química. El único parámetro fuera de rango fue el pH, cuyo valor normativo recomendado oscila entre 6.0 y 8.5.

Los resultados no evidencian fallas en el prototipo. Todos los materiales en contacto con el agua (vidrio templado, acero inoxidable de grado alimenticio y silicona alimentaria) fueron seleccionados por su baja reactividad, lo que descarta una contaminación peligrosa. El incremento en la concentración de iones pudo deberse al contacto directo de los sensores con el agua durante la destilación, liberando trazas mínimas de soldaduras o de los propios materiales de los sensores. Asimismo, no puede descartarse que el espejo trasero, al estar expuesto a variaciones de temperatura, haya contribuido a la lixiviación de compuestos en trazas, lo que también explicaría parte de las fluctuaciones observadas en la conductividad y la salinidad, aunque sin representar un riesgo sanitario. Por otra parte, la reducción del pH en el agua destilada es un fenómeno común en procesos de destilación solar, asociado a la mayor disponibilidad de H^+ . Por tanto, el aumento de iones, así como el pH bajo, no afecta la inocuidad microbiológica del agua, permaneciendo segura para el consumo doméstico.

Análisis microbiológico

En las muestras de agua lluvia sin destilar se observó crecimiento bacteriano en Agar MacConkey (Fig. 18) y Agar EMB (Fig. 17), con colonias de aspecto mucoso y coloración rosada, características compatibles con *Klebsiella pneumoniae*. Esta bacteria pertenece al grupo de coliformes fermentadores de lactosa, y su detección confirma contaminación microbiológica. Según la normativa, la presencia de coliformes totales (aun de manera cualitativa y sin cuantificación) constituye un incumplimiento del límite permisible (0 UFC/100 mL). Estos resultados señalan deficiencias higiénicas en el agua de lluvia recolectada, por lo que no es apta para consumo directo sin un tratamiento previo. En contraste, en Agar SS (Fig. 16) no se observaron colonias con las características típicas de *Salmonella spp.* (colonias oscuras o ennegrecidas), lo que indica que no se detectó este patógeno en ninguna de las muestras analizadas.

Las muestras de agua destilada no evidenciaron crecimiento bacteriano en ninguno de los medios de cultivo utilizados. Este hallazgo confirma la ausencia cualitativa de coliformes y

de *Salmonella spp.*, en concordancia con el criterio normativo de 0 UFC/100 mL, lo que respalda la eficacia del proceso de destilación en la eliminación de contaminantes microbiológicos y la obtención de un agua segura para consumo desde el punto de vista sanitario. A continuación, se presentan las figuras que evidencian estos resultados.

Figura 16

Placas de cultivo en Agar Salmonella shigella (SS)

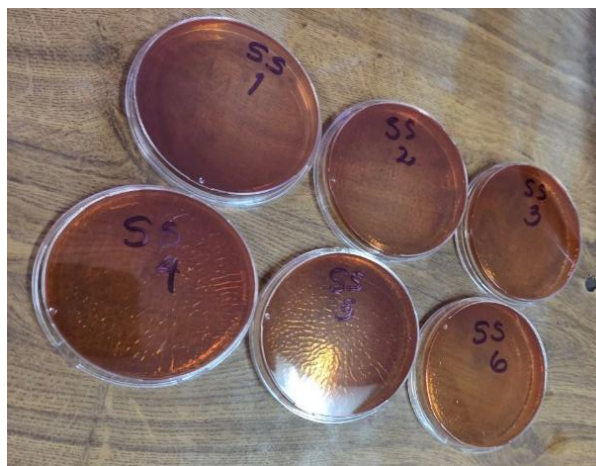


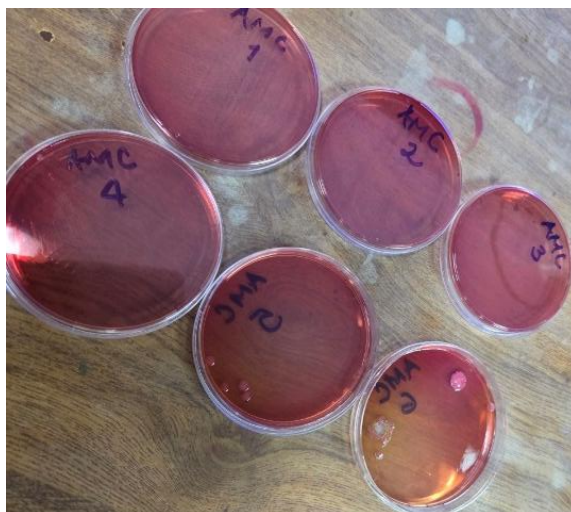
Figura 17

Placas de cultivo en Agar Eosina Metil Blue (EMB)



Figura 18

Placas de cultivo en Agar MacConkey



Limitaciones

La investigación presentó limitaciones asociadas a la falta de acceso a pruebas especializadas (turbidez, color verdadero, características organolépticas, contaminantes químicos cítricos y metales traza de relevancia toxicológica), altos costos de análisis, ausencia de equipo adecuado y escaso apoyo institucional, lo que impidió evaluar parámetros normativos clave. Esto resalta la necesidad de mayor disponibilidad de recursos técnicos y financieros en futuras investigaciones para una caracterización integral.

El comportamiento del sensor LM35, que presentó lecturas muy variables y requirió calibraciones frecuentes. Se utilizó el multímetro con termocupla tipo K como referencia, el cual mostró mayor estabilidad en los registros, motivo por el cual se optó por emplear sus datos para el análisis.

Otra limitación fue la inaccesibilidad a ciertos materiales específicos, como recubrimientos o pinturas de grado alimenticio que hubieran permitido mejorar la absorción térmica en la bandeja evaporadora sin comprometer la inocuidad del agua, y redujo la posibilidad de optimizar la eficiencia térmica del prototipo.

4. Conclusiones

- El destilador solar en prueba al vacío, realizada el 28 de julio, alcanzó una temperatura de estancamiento de 89 °C. Este comportamiento reflejó una buena captación y retención de energía solar, con pérdidas moderadas gracias al aislamiento y sellos del prototipo, confirmando la viabilidad del diseño antes de ensayar con agua.
- Durante las jornadas de destilación con agua lluvia, el destilador mostró un patrón consistente de condensación, ya que en los tres días evaluados el gradiente térmico aire–vidrio se mantuvo positivo durante la mayor parte de la operación. Los valores promedios fueron cercanos a 20 °C (19.8 °C el 03/08, 19.7 °C el 04/08 y 20.0 °C el 07/08), con máximos entre 26 y 30 °C, lo que aseguró la función condensadora de la cubierta. Las temperaturas internas oscilaron entre 75 y 79 °C, condiciones suficientes para favorecer la evaporación.
- La producción de agua destilada estuvo determinada por las condiciones climáticas y los parámetros térmicos internos. En días parcialmente nublados se recolectaron 149–150 mL (recuperación cercana al 5 %), mientras que en condiciones de cielo despejado se alcanzaron 260 mL (recuperación de 9.6 %). En este último caso, la productividad específica aumentó de 0.5–0.7 L·m⁻²·día⁻¹ a 1.25 L·m⁻²·día⁻¹, y la tasa promedio de producción se duplicó (0.02→0.037 L/h). El mejor desempeño coincidió con valores altos y sostenidos de ΔT aire–vidrio, temperaturas internas estables entre 75–79 °C y humedad relativa interna de hasta 98 %, condiciones que explican el incremento en la cantidad de destilado recolectado frente a las jornadas nubladas.
- En los días de prueba, la condensación en la cubierta inició aproximadamente a las 10:00 h, y el goteo hacia el canal de recolección entre las 11:30 y 12:00 h, evidenciando un ciclo térmico repetitivo. La humedad relativa interna (85–98 %) y el ascenso de temperaturas confirmaron una mayor producción de evaporada. Esto implica que, a medida que la temperatura interna aumentó y el aire se saturó de humedad, se generaron las condiciones

óptimas para la formación de gotas y la recolección efectiva de destilado, garantizando así la productividad del proceso.

- El agua destilada presentó valores de conductividad, TDS y concentración iónica más altos que el agua lluvia (incrementos de 8 a 32 veces), con un pH bajo (4.7–5.1). Sin embargo, estos valores se mantuvieron muy por debajo de los límites establecidos en la NSO 13.07.01:08, garantizando inocuidad química. La única corrección necesaria es un post-tratamiento de re-mineralización controlada, para ajustar el pH al rango normativo.

- El agua lluvia sin tratar presentó crecimiento bacteriano compatible con *Klebsiella pneumoniae*, confirmando contaminación microbiológica y la hace no apta para consumo humano directo sin un tratamiento previo. En contraste, en las muestras de agua destilada no se observó crecimiento de bacterias (*Klebsiella pneumoniae*, coliformes y *Salmonella spp*) en ninguno de los medios de cultivo. Estos resultados justifican la importancia del proceso de destilación como una técnica eficaz para eliminar contaminantes microbiológicos presentes en el agua de lluvia y/o aguas contaminadas, garantizando así un recurso seguro desde el punto de vista sanitario.

5. Recomendaciones

- Se sugiere incorporar recubrimientos absorbentes de preferencia grado alimenticio en la bandeja de evaporación con el fin de mejorar la captación de energía solar, aumentar la eficiencia térmica y asegurar la inocuidad de la destilación.

- Se recomienda evaluar un prototipo para facilitar la limpieza interna, también en la creación de otros prototipos con inclinación ajustable y con materiales antirreflejante para favorecer la captación solar durante diferentes estaciones del año. Asimismo, se aconseja no colocar el espejo concentrador solar en el interior del destilador, sino en el exterior, con el fin de evitar procesos de lixiviación.

- También, podrían integrarse materiales con mayor capacidad aislante en la cubierta para reducir pérdidas térmicas y mejorar la estabilidad del gradiente de temperatura.
- Se recomienda complementar el análisis del agua con la determinación de contaminantes químicos críticos y metales traza de importancia sanitaria, lo que permitiría identificar posibles riesgos químicos no detectables en el análisis microbiológico y fortalecer la seguridad del agua obtenida. Asimismo, la incorporación de parámetros como turbidez, color verdadero y características organolépticas (olor y sabor) contribuiría a una evaluación integral de la calidad del agua.
- Se aconseja extender el uso del destilador a diferentes tipos de agua contaminada y ampliar la evaluación durante la época seca, con el fin de determinar la viabilidad del equipo en distintas condiciones climáticas y comparar su desempeño con otros sistemas de potabilización de bajo costo.
- Se recomienda impulsar la replicación del sistema de destilación solar como una alternativa sustentable que contribuya tanto a la seguridad hídrica como a la disminución del uso de combustibles fósiles en los procesos de potabilización.
- Se sugiere fomentar la implementación de estos dispositivos en comunidades rurales sin acceso a agua potable, acompañada de talleres y capacitaciones que faciliten su uso y mantenimiento.
- Se destaca la necesidad de apoyo institucional y académico para fortalecer a futuros investigadores en el desarrollo y mejora de esta tecnología.

Referencias

- Apure. (23 de Septiembre de 2024). *Apure Instrument*. (A. Instrument, Editor) Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de Resistivity of Water: https://apureinstrument.com/blogs/resitivity-of-water/?utm_source=chatgpt.com
- Asim Siddiqui, M., Shariq, M., Asif, M., M. Gomaa, M., A. Ahmed, I., & M. Althagaf, T. (2023). *Design and Experimental Studies on a Single Slope Solar Still for Water Desalination*. Abha. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/4/704>
- B. Baird, R., D. Eaton, A., & W. Rice, E. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed.). Obtenido de <https://dokumen.pub/standard-methods-for-the-examination-of-water-and-wastewater-23th-23thnbsped-9780875532875.html>
- Bons, N. (2005). *SWERA informe nacional*. Recuperado el 01 de Junio de 2025, de https://openei.org/datasets/files/730/pub/borrador_209.pdf
- CONACYT. (2008). *NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.07.01:08*. Obtenido de <https://defensoria.gob.sv/images/stories/varios/NORMAS/AGUA/NSO13.07.01.08AGUA%20POTABLE.pdf>
- Córdova Barrios , I., Barrios Mendoza, T., & Córdova Mendoza, P. (2021). *Modelación del sistema de destilación solar y la desalinización de agua de mar en la Bahía de Paracas*. Ed. da UnC (Universidad del Contestado, Mafra, SC). Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de <https://bit.ly/47iTX34>
- Córdova Mendoza, P., Zuzunaga Morales, R., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Barrios, I. C., Zuzunaga Concha, E., & Diaz Huachaca, S. M. (25 de septiembre de 2023). Destilador solar de tipo una vertiente y la purificación de la calidad del agua, Ica. (U. N. Gonzaga", Ed.) Ica, Perú. doi:<https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/290/748>
- Cusick, D. (30 de Noviembre de 2022). 5 billion people will face water shortages by 2050, U.N. says. *Scientific American*. Obtenido de <https://www.scientificamerican.com/article/5-billion-people-will-face-water-shortages-by-2050-u-n-says/>
- Fernández Zayas, J. L., & Chargoy Del Valle, N. (9 de Enero de 2018). *Instituto de Ingeniería UNAM*. Obtenido de <https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/Destiladorsolarparaagua.aspx#:~:text=%E2%80%8BLos%20destiladores%20solares%20son,de%20agua%20contaminada%20o%20salobre>
- Fondriest Environmental, I. (3 de Marzo de 2014). *Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids*. Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de Fundamentals of Environmental Measurements (o simplemente "Fondriest Environmental": <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>
- Forbes Staff. (24 de marzo de 2025). *La contaminación y el acceso al agua son los retos de Centroamérica en materia hídrica*. Obtenido de <https://forbescentroamerica.com/2025/03/24/la-contaminacion-y-el-acceso-al-agua-son-los-retos-de-centroamerica-en-materia-hidrica>

- Hakim S. Sultan Aljibori, L. K. (29 de Agosto de 2022). *Solar Still*. Recuperado el 26 de Agosto de 2025, de Encyclopedia: <https://encyclopedia.pub/entry/26585>
- Hermosillo Villalobos, J. J. (1989). *Destilación solar*. (ITESO, Ed.) Tlaquepaque, Jalisco, México: Comisión para el Fomento Editorial, COFE. Obtenido de <https://rei.iteso.mx/items/02bb8b46-4fb7-4c75-9517-b2209022815a>
- Hernández Avilés, D. M. (2020). Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30, 97-107. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702020000200097
- T. Alwan, N., Mahmood Ali, B., Alomar, O. R., M. Abdulrazzaq, N., M. Abed d, R., & Ali, O. M. (30 de septiembre de 2024). Rendimiento de los destiladores solares y técnicas de mejora: una investigación de revisión. *Heliyon*, 10(18). Obtenido de <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2824%2913724-3>
- Torres Martín, D., & Mejía Moncayo, C. (2016). Modelado y Simulación de un Destilador Solar. *Universidad de los Llanos*. Obtenido de https://cici.unillanos.edu.co/media2016/memorias/CICI_2016_paper_116.pdf
- Wiener, J., Zaman Khan, M., & Shah, K. (2024). Performance enhancement of the solar still using textiles and polyurethane rollers. *Scientific Reports*, 14(1). doi:10.1038/s41598-024-55948-z

Anexos

Anexo 1

Descripción de elementos de construcción del destilador solar.

Elementos	Dimensiones (alto × ancho) (cm)	Descripción
Madera pared trasera	42 × 52	Pared trasera vertical
Durapax pared trasera	42 × 52, ½" de grosor	Pegado sobre pared de madera trasera
Espejo pared trasera	30 × 52, 3mm de grosor	Pegado delante del durapax trasero
Madera frontal	30 × 52	Donde se ubicó tubo entrada de agua
Durapax frontal	30 × 52, ½" de grosor	Pegado encima de madera frontal
Madera lateral	35 × 45	Paredes laterales completas
Cubierta de Vidrio	60 × 46, 4 mm de grosor	Cubierta inclinada de vidrio templado
Base de madera	54 × 45	Pared inferior
Base de durapax	54 × 45, 1" de grosor	Pegado sobre la base de madera
Bandeja de acero inoxidable	52 × 40, 3 cm de profundidad	Almaceno el agua a destilar y se ubicó encima de la base de durapax, con capacidad de almacenamiento agua de 6.24 l
Canal de acero inoxidable	1 ¼" de grosor, y 60 largo	Para recolectar el agua que cayó desde cubierta de vidrio
Tubo cpvc con codo y tapón hembra	¾" (19 mm) de diámetro	Para llenado con agua de lluvia
Unión cople cpvc con tapón hembra con rosca	¾" (19mm) de diámetro	Para introducción de sensores al interior del destilador
Desagüe de acero inoxidable	Tubo de 1/2" de 30 cm de largo	Anexado a la bandeja de acero para vaciado del contenedor
Silicon grado alimenticio	-	Utilizado para las diferentes uniones del destilador y pegar la cubierta de vidrio a la base del destilador.

Anexo 2

Tabla de costos del prototipo

Cantidad	Elemento	Precio (\$)
1	Base de madera de pino	45.00
1	Lámina Durapax 0.61 × 1.21 m (½")	1.26
1	Espejo cortado	6.00
1	Lámina Durapax 0.61 × 1.21 m (1")	2.45
1	Tubo de acero inoxidable	5.00
1	Silicón grado alimenticio	10.00
1	Construcción de bandeja de acero	15.00
1	Lamina de acero inoxidable 304 de 50cm ×1m	28.75
1	Cubierta de vidrio templado 60 × 46	20
1	Tubo CPVC con codo y tapón hembra ¾" (19 mm)	1.47
1	Unión cople CPVC con tapón hembra con rosca ¾" (19 mm)	1.30
1	Desagüe de acero inoxidable (tubo de ½" de 30 cm)	5.00
	Costo total	141.23

Anexo 3

Costos de instrumentación

Cantidad	Elemento	Precio (\$)
1	Placa de programación Arduino UNO	11.49
1	Sensor de temperatura y humedad DHT22	2.49
1	Sensor de temperatura KS0022 Keyestudio LM35	4.00
1	Sensor de temperatura LM35 sin módulo	3.50
1	Módulo para micro SD (6 pines)	5.60
1	Pantalla LCD 2×16	3.99
1	Resistencias, potenciómetro, cables y cable USB-A	6.00
1	Cable USB a USB tipo B (1.8 m, reforzado con conectores dorados)	9.00
6	Vasos copros graduados	2.40
	Total, instrumentación	44.47

Anexo 4

Valores de temperaturas y humedad vs tiempo de operación (al vacío) 28/7/2025

Tiempo(h)	T_v (°C)	T_{int m} (°C)
08:00	30.0	32.0
08:10	32.0	44.0
08:20	34.0	48.0
08:30	35.0	50.0
09:00	36.0	54.0
09:10	37.0	60.0
09:20	38.0	63.0
09:30	38.0	67.0
09:40	39.0	70.0
09:50	40.0	73.0
10:00	41.0	75.0
10:10	42.0	77.0
10:20	45.0	80.0
10:30	48.0	79.0
10:40	49.0	80.0
10:50	49.0	79.0
11:00	48.0	76.0
11:10	47.0	75.0
11:20	48.0	75.0
11:30	47.0	74.0
11:40	47.0	72.0
11:50	46.0	74.0
12:00	44.0	82.0
12:10	54.0	87.0
12:20	51.0	86.0
12:30	53.0	82.0
12:40	54.0	81.0
12:50	47.0	79.0
13:00	46.0	80.0
13:10	46.0	81.0
13:20	45.0	82.0
13:30	46.0	83.0
13:40	47.0	87.0

Tiempo(h)	T _v (°C)	T _{int m} (°C)
13:50	48.0	88.0
14:00	46.0	86.0
14:10	47.0	89.0
14:20	46.0	86.0
14:30	45.0	84.0
14:40	44.0	82.0
14:50	43.0	81.0
15:00	42.0	80.0

Anexo 5

Valores de temperaturas y humedad vs tiempo de operación (destilación 1)

Tiempo(h)	T _v (°C)	T _{ag} (°C)	T _{int m} (°C)	T _{int LM35} (°C)	T _{int s} (°C)	T _{ext} (°C)	H _{int} %	H _{ext} %	ΔT
08:00	31.0	32.0	31.0	30.0	30.1	30.5	20.0	55.0	0
08:10	34.0	34.0	43.0	35.0	33.3	31.4	22.0	57.0	9.0
08:20	38.0	35.0	48.0	42.0	48.9	31.2	25.0	60.0	10.0
08:30	40.0	37.0	58.0	59.0	56.2	31.5	30.0	65.6	18.0
08:40	40.0	40.0	63.0	64.8	67.2	33.2	32.0	66.0	23.0
08:50	39.0	41.0	62.0	63.8	66.5	33.0	33.0	64.0	23.0
09:00	41.0	40.0	62.0	63.1	66.2	33.7	34.0	62.4	21.0
09:10	40.0	42.0	62.0	62.0	65.9	33.3	35.0	62.3	22.0
09:20	46.0	46.0	61.0	60.6	66.4	34.0	40.0	55.2	15.0
09:30	38.0	49.0	62.0	62.3	68.2	33.1	42.0	53.5	24.0
09:40	41.0	51.0	65.0	64.2	69.9	33.7	43.0	54.7	24.0
09:50	43.0	53.0	67.0	63.3	70.0	33.4	45.0	53.2	24.0
10:00	51.0	56.0	68.0	65.9	70.0	34.2	46.0	52.3	17.0
10:10	47.0	57.0	69.0	70.6	70.0	33.9	47.0	50.7	22.0
10:20	45.0	59.0	70.0	70.2	70.0	33.9	45.0	49.9	25.0
10:30	45.0	60.0	71.0	73.2	70.0	34.4	51.0	48.9	26.0
10:40	50.0	62.0	71.0	73.6	70.0	34.6	53.0	49.4	21.0
10:50	46.0	63.0	70.0	71.9	70.0	34.8	55.0	49.1	24.0
11:00	51.0	64.0	65.0	68.0	70.0	35.1	57.0	48.1	14.0
11:10	49.0	67.0	63.0	62.0	70.0	35.4	82.0	47.0	14.0

Anexo 6*Valores de temperaturas y humedad vs tiempo de operación (destilación 2)*

Tiempo(h)	T_v (°C)	T_{ag} (°C)	T_{int m} (°C)	T_{int LM35} (°C)	T_{int s}(°C)	T_{ext} (°C)	H_{int} %	H_{ext}%	ΔT
08:00	29.0	28.0	35.0	36.5	39.8	30.0	12.0	70.0	6.0
08:10	32.0	31.0	38.0	37.5	40.5	30.5	10.0	70.0	6.0
08:20	33.0	32.0	42.0	42.8	44.1	31.0	10.0	68.0	9.0
08:30	34.0	33.0	45.0	44.5	47.9	31.3	60.0	68.9	11.0
08:40	34.0	34.0	44.0	45.0	47.8	31.3	56.0	66.3	10.0
08:50	35.0	35.0	45.0	47.0	48.2	31.5	55.0	66.9	10.0
09:00	35.0	36.0	48.0	47.1	52.4	31.9	46.0	64.8	13.0
09:10	35.0	36.0	51.0	48.5	54.1	32.0	49.0	65.1	16.0
09:20	35.0	40.0	57.0	56.0	63.9	32.8	41.0	61.9	22.0
09:30	34.0	42.0	58.0	55.2	67.5	33.4	39.0	60.5	24.0
09:40	35.0	44.0	60.0	61.5	67.8	34.4	39.0	60.8	25.0
09:50	39.0	47.0	61.0	62.5	69.0	34.5	40.0	56.2	22.0
10:00	38.0	48.0	62.0	63.1	70.0	34.5	40.0	56.6	24.0
10:10	40.0	52.0	64.0	63.5	70.0	34.4	40.0	54.6	24.0
10:20	40.0	53.0	65.0	61.2	70.0	34.6	42.0	55.9	25.0
10:30	41.0	54.0	65.0	61.5	70.0	34.8	43.0	54.2	24.0
10:40	40.0	54.0	66.0	61.5	70.0	35.1	43.0	54.1	26.0
10:50	41.0	55.0	67.0	63.2	70.0	35.5	50.0	53.1	26.0
11:00	44.0	57.0	73.0	72.1	70.0	36.3	62.0	53.6	29.0
11:10	45.0	58.0	74.0	70.9	70.0	36.4	64.0	51.3	29.0
11:20	47.0	63.0	74.0	72.6	70.0	37.8	51.0	46.9	27.0
11:30	48.0	68.0	75.0	80.7	70.0	38.2	55.0	46.8	27.0
11:40	48.0	63.0	71.0	73.9	70.0	36.8	66.0	50.9	23.0
11:50	46.0	63.0	68.0	68.0	70.0	37.1	63.0	50.4	22.0
12:00	43.0	64.0	70.0	72.8	70.0	39.1	59.0	45.2	27.0
12:10	44.0	66.0	67.0	73.2	70.0	39.1	58.0	45.2	23.0
12:20	48.0	66.0	66.0	69.4	70.0	40.4	59.0	43.5	18.0
12:30	49.0	65.0	68.0	69.7	70.0	41.5	61.0	40.9	19.0

Tiempo(h)	T _v (°C)	T _{ag} (°C)	T _{int m} (°C)	T _{int LM35} (°C)	T _{int s} (°C)	T _{ext} (°C)	H _{int} %	H _{ext} %	ΔT
12:40	48.0	66.0	69.0	69.4	70.0	39.9	61.0	50.2	21.0
12:50	49.0	66.0	64.0	63.5	70.0	40.0	60.0	50.6	15.0
13:00	48.0	63.0	63.0	65.0	70.0	35.7	63.0	47.9	15.0
13:10	44.0	63.0	64.0	62.0	70.0	33.6	64.0	62.0	20.0
13:20	49.0	64.0	64.0	63.6	70.0	33.4	64.0	66.0	15.0
13:30	48.0	63.0	63.0	63.6	70.0	32.7	65.0	78.0	15.0
13:40	47.0	64.0	65.0	63.1	70.0	29.2	67.0	88.0	18.0
13:50	48.0	65.0	66.0	67.2	70.0	30.1	69.0	85.0	18.0
14:00	48.0	69.0	68.0	69.7	70.0	29.6	68.0	90.0	20.0
14:10	47.0	59.0	67.0	66.0	70.0	30.6	69.0	98.0	20.0
14:20	45.0	58.0	68.0	67.1	70.0	31.6	70.0	97.7	23.0
14:30	43.0	57.0	69.0	68.3	70.0	32.5	69.0	83.3	26.0
14:40	42.0	58.0	62.0	60.0	70.0	31.9	75.0	80.5	20.0
14:50	44.0	60.0	61.0	61.4	70.0	32.5	85.0	60.5	17.0
15:00	41.0	59.0	60.0	60.3	70.0	32.4	87.0	63.9	19.0
V _i (mL)	2700							V _f (mL):	2400
V _{prod} (mL)	149								

Anexo 7

Valores de temperaturas y humedad vs tiempo de operación (destilación 3)

Tiempo (h)	T _v (°C)	T _{ag} (°C)	T _{int m} (°C)	T _{int LM35} (°C)	T _{int s} (°C)	T _{ext} (°C)	H _{int} %	H _{ext} %	ΔT
08:00	31.0	30.0	31.0	30.1	34.3	29.8	10.0	76.0	0
08:10	31.5	30.5	39.0	40.0	42.0	30.5	20.0	68.0	7.5
08:20	31.8	30.8	43.0	48.0	52.0	31.0	15.0	69.0	11.2
08:30	31.0	30.1	47.0	55.0	60.4	31.3	45.0	69.9	16.0
09:00	34.0	36.0	60.0	66.2	68.0	31.8	35.0	63.8	26.0
09:10	34.0	39.0	60.0	55.4	67.2	31.1	35.0	60.0	26.0
09:20	36.0	40.0	61.0	61.2	67.0	32.0	37.0	61.5	25.0
09:30	36.0	44.0	62.0	59.6	68.0	33.4	38.0	59.4	26.0

Tiempo(h)	T _v (°C)	T _{ag} (°C)	T _{int m} (°C)	T _{int LM35} (°C)	T _{int s} (°C)	T _{ext} (°C)	H _{int} %	H _{ext} %	ΔT
09:40	41.0	48.0	58.0	61.0	70.0	33.5	400	73.3	17.0
09:50	39.0	51.0	60.0	61.2	70.0	33.6	42.0	71.1	21.0
10:00	40.0	51.0	62.0	63.8	70.0	33.9	43.0	65.6	22.0
10:10	41.0	55.0	63.0	65.5	70.0	34.2	44.0	59.6	22.0
10:20	44.0	56.0	64.0	68.7	70.0	36.1	45.0	47.5	20.0
10:30	43.0	57.0	65.0	71.8	70.0	36.8	46.0	47.1	22.0
10:40	44.0	58.0	65.0	69.3	70.0	36.7	47.0	51.7	21.0
10:50	43.0	59.0	64.0	68.2	70.0	35.4	49.0	51.9	21.0
11:00	44.0	61.0	67.0	68.3	70.0	34.4	50.0	53.6	23.0
11:10	43.0	62.0	69.0	70.1	70.0	34.6	51.0	54.0	26.0
11:20	49.0	64.0	70.0	71.2	70.0	34.4	52.0	60.2	21.0
11:30	50.0	65.0	72.0	71.8	70.0	34.6	56.0	64.7	22.0
11:40	45.0	66.0	71.0	74.6	70.0	35.0	57.0	53.4	26.0
11:50	47.0	67.0	68.0	64.2	70.0	34.9	58.0	54.6	21.0
12:00	48.0	68.0	66.0	62.3	70.0	35.2	59.0	54.7	18.0
12:10	50.0	68.0	66.0	67.6	70.0	35.3	59.0	49.0	16.0
12:20	50.0	67.0	63.0	63.6	70.0	35.2	59.0	51.0	13.0
12:30	48.0	67.0	65.0	65.2	70.0	35.3	58.0	51.4	17.0
12:40	49.0	67.0	70.0	69.4	70.0	35.1	62.0	48.1	21.0
12:50	50.0	69.0	72.0	70.3	70.0	35.6	63.0	49.4	22.0
13:00	49.0	68.0	73.0	65.3	70.0	35.5	63.0	45.9	24.0
13:10	50.0	69.0	75.0	68.7	70.0	35.1	64.0	53.1	25.0
13:20	49.0	68.0	75.0	71.2	70.0	35.8	63.0	54.3	26.0
13:30	48.0	70.0	73.0	72.6	70.0	35.8	63.0	56.8	25.0
13:40	49.0	71.0	71.0	63.8	70.0	36.1	62.0	48.0	22.0
13:50	48.0	68.0	64.0	65.1	70.0	35.8	64.0	43.9	16.0
14:00	47.0	67.0	63.0	62.5	70.0	37.2	63.0	40.6	16.0
14:10	48.0	68.0	71.0	72.4	70.0	36.2	64.0	39.0	23.0
14:20	48.0	67.0	70.0	69.9	70.0	37.1	65.0	38.8	22.0
14:30	46.0	69.0	68.0	66.2	70.0	37.2	66.0	40.0	22.0
14:40	47.0	65.0	65.0	63.4	70.0	37.4	72.0	40.5	18.0
14:50	46.0	65.0	62.0	61.4	70.0	37.1	75.0	41.6	16.0

Tiempo(h)	T_v (°C)	T_{ag} (°C)	$T_{int m}$ (°C)	$T_{int LM35}$ (°C)	$T_{int s}$ (°C)	T_{ext} (°C)	H_{int} %	H_{ext} %	ΔT
15:00	44.0	60.0	60.0	62.4	70.0	37.0	85.0	41.7	16.0
V_i (mL):	2700							V_f (mL):	2410
V_{prod} (mL)	260								

Comentarios y análisis de $T_{int m}$ por horas clave y diferencia con el vidrio (ΔT)

Indicadores de condensación:

Cuando $\Delta T = T_{int m} - T_v$; si; $\Delta T > 0$, el vidrio está más frío que el aire interior y favorece la condensación y el crecimiento de gotas.

Si $\Delta T = 0$, no existe un gradiente térmico útil; si la humedad no alcanza saturación a esa temperatura, las gotas se estabilizan o se evaporan lentamente y no se observa goteo neto.

Si $\Delta T < 0$, el vidrio está más caliente que el aire y las gotas tienden a re-evaporarse, deteniéndose la recolección hasta que $\Delta T > 0$

3/8/2025

Calentamiento inicial (08:00–08:50): $T_{int m} \approx 31 \rightarrow 62$ °C; $T_v \approx 31 \rightarrow 39$ °C; $\Delta T \approx 0 \rightarrow 23$ °C.

Fase alta con leve caída (09:00–09:30): $T_{int m} \approx 62$ °C; $T_v \approx 41 \rightarrow 38$ °C; $\Delta T \approx 21 \rightarrow 24$ °C.

Meseta alta (10:10–10:50): $T_{int m} \approx 69 \rightarrow 70$ °C; $T_v \approx 47 \rightarrow 46$ °C; $\Delta T \approx 22 \rightarrow 24$ °C.

Depresión (10:50–11:10): $T_{int m} \approx 70 \rightarrow 63$ °C; $T_v \approx 46 \rightarrow 49$ °C; $\Delta T \approx 24 \rightarrow 14$ °C.

Bloque óptimo (13:30–13:40): $T_{int m} \approx 78 \rightarrow 79$ °C; $T_v \approx 50 \rightarrow 49$ °C; $\Delta T \approx 28 \rightarrow 30$ °C.

Descenso (13:40–15:00): $T_{int m} \approx 79 \rightarrow 58$ °C; $T_v \approx 49 \rightarrow 39$ °C; $\Delta T \approx 30 \rightarrow 19$ °C.

Lecturas clave:

- Inicio de $\Delta T > 0$: 08:10 h

- ΔT medio con $\Delta T > 0$ (día completo): ≈ 19.8 °C

- ΔT máximo: 30.0 °C (13:40)

- $T_{int m}$ max: 79 °C (13:40); mín.: 31 °C (08:00)

4/8/2025

Calentamiento inicial (08:00–10:20): $T_{int\ m} \approx 35 \rightarrow 65$ °C; $T_v \approx 29 \rightarrow 40$ °C; $\Delta T \approx 6 \rightarrow 25$ °C.

Fase alta sostenida hasta el pico (10:30–11:30): $T_{int\ m} \approx 65 \rightarrow 75$ °C; $T_v \approx 41 \rightarrow 46$ °C; $\Delta T \approx 24 \rightarrow 29$ °C.

Leve caída (11:30–12:30): $T_{int\ m} \approx 75 \rightarrow 68$ °C; $T_v \approx 48 \rightarrow 49$ °C; $\Delta T \approx 27 \rightarrow 19$ °C.

Meseta alta (13:50–14:30): $T_{int\ m} \approx 66 \rightarrow 69$ °C; $T_v \approx 48 \rightarrow 43$ °C; $\Delta T \approx 18 \rightarrow 26$ °C.

Descenso (14:30–15:00): $T_{int\ m} \approx 69 \rightarrow 60$ °C; $T_v \approx 43 \rightarrow 41$ °C; $\Delta T \approx 26 \rightarrow 19$ °C.

Lecturas clave:

- Inicio de $\Delta T > 0$: 08:00 h
- ΔT medio con $\Delta T > 0$ (día completo): ≈ 19.7 °C
- ΔT máximo: 29 °C (11:00)
- $T_{int\ m}$ máx.: 75 °C (11:30); mín.: 35 °C (08:00)

7/8/2025

Calentamiento inicial (08:00–09:20): $T_{int\ m} \approx 31 \rightarrow 61$ °C; $T_v \approx 31 \rightarrow 36$ °C; $\Delta T \approx 0 \rightarrow 25$ °C.

Fase alta con leve caída (09:30–10:00): $T_{int\ m} \approx 62 \rightarrow 62$ °C; $T_v \approx 36 \rightarrow 40$ °C; $\Delta T \approx 26 \rightarrow 22$ °C.

Meseta alta (11:00–11:20): $T_{int\ m} \approx 67 \rightarrow 70$ °C; $T_v \approx 44 \rightarrow 49$ °C; $\Delta T \approx 23 \rightarrow 21$ °C.

Depresión (11:40–12:20): $T_{int\ m} \approx 71 \rightarrow 63$ °C; $T_v \approx 45 \rightarrow 50$ °C; $\Delta T \approx 26 \rightarrow 13$ °C.

Bloque óptimo (13:10–13:20): $T_{int\ m} \approx 75 \rightarrow 75$ °C; $T_v \approx 50 \rightarrow 49$ °C; $\Delta T \approx 25 \rightarrow 26$ °C.

Descenso (13:20–15:00): $T_{int\ m} \approx 75 \rightarrow 60$ °C; $T_v \approx 49 \rightarrow 44$ °C; $\Delta T \approx 26 \rightarrow 16$ °C.

Lecturas clave

Inicio de $\Delta T > 0$: 08:10

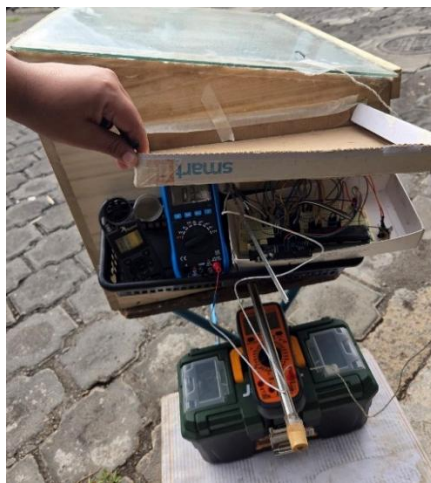
ΔT medio con $\Delta T > 0$ (día completo): ≈ 20.0 °C

ΔT máximo: 26 °C (09:00)

$T_{int\ m}$ máx.: 75 °C (13:10); mín.: 31 °C (08:00)

Figura 19

Instrumentos de medición, multímetro, estación meteorológica y circuito Arduino.



El cartón tuvo su utilidad en la protección para sobrecalentamiento de los instrumentos de medida por irradiación solar.

Figura 20

Análisis físico-químico en laboratorios de la facultad de química y farmacia sede central.

