



Efecto de Aguas Grises Destiladas con y sin Ebullición sobre la Germinación de *Solanum Lycopersicum*

Effect of Distilled Greywater, with and without Boiling, on the Germination of *Solanum Lycopersicum*

Cristhian Fernando Gomez Alanoca (Autor Corresponsal)
cfgomez@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0009-6628-2470

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Tadeo Elias Quispe Caceres

tquispec@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0009-1267-089X

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Michael Tommy Aguilar Guivin

maguilarg@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0008-3639-1695

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Alex Junior Caceres Calizaya

ajcaceresc@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0002-3724-3818

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Aceptación: 3 de julio de 2025

Publicación: 8 de agosto de 2025

Resumen

La escasez del recurso hídrico es un problema crítico en la actualidad. Este estudio analizó el efecto de aguas grises destiladas con y sin ebullición sobre la germinación de *Solanum lycopersicum* a partir de la elaboración de un DSSE a base de vidrio y DSCE con espejos en forma parabólica, para tratar aguas grises domésticas. Se caracterizaron pH, conductividad y turbidez del agua destilada, y se evaluó la germinación en placas Petri con los dos tratamientos ADSE, ADCE y un testigo, con un diseño al azar de 3 repeticiones. Los resultados mostraron rendimientos de 30.8 ml/h y 216.667 ml/día respectivamente, el ADSE mejoró a un pH (6.763), mientras que el ADCE redujo la conductividad de 1698 a 2.208 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mostrando ser mejor que el ADSE (331.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La turbidez del ADCE fue nula y la del ADSE fue de 1.505 NTU. El índice de germinación del ADSE fue superior al ADCE y testigo, con un pH óptimo neutro. El ADSE tiene mayor influencia en la germinación del *solanum lycopersicum* por su pH neutro, pese a su menor remoción de sólidos. El DSCE mejora la calidad física, pero acidifica el agua.

Palabras clave: Destilación Solar; Índice de Germinación; Destilador; Destilación de Aguas Grises; *Solanum lycopersicum*

Abstract

Water scarcity is a critical problem today. This study analyzed the effect of distilled greywaters, with and without boiling, on *Solanum lycopersicum* germination, using a glass-based DSSE and a parabolic mirror DSCE to treat domestic greywater. pH, conductivity, and turbidity of the distilled water were characterized, and germination was evaluated in Petri dishes for the two treatments (DSSE, DSCE) and a control, using a randomized design with 3 replications. Results showed yields of 30.8 ml/h and 216.667 ml/day, respectively. DSSE improved pH (6.763), while DSCE reduced conductivity from 1698 to 2.208 $\mu\text{S}/\text{cm}$, proving better than DSSE (331.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). DSCE turbidity was null and DSSE turbidity was 1.505 NTU. The germination index for DSSE was higher than for DSCE and the control, with a neutral optimum pH. DSSE has greater influence on *Solanum lycopersicum* germination due to its neutral pH, despite lower solids removal. DSCE improves physical quality but acidifies the water.

Keywords: Solar Distillation; Germination Index; Distiller; Greywater Distillation; *Solanum lycopersicum*





Introducción

La escasez del recurso hídrico es un problema global que afecta a diversas regiones del mundo, más de 2 mil millones de personas habitan en regiones con elevados niveles de estrés hídrico ([Macedo et al., 2024](#)), el cual hace referencia a la insuficiencia de recursos hídricos disponibles para satisfacer adecuadamente las necesidades de la población ([Tzanakakis et al., 2020](#)).

Entre las principales causas de la escasez hídrica radica, el calentamiento global y la degradación ambiental; mientras que el incremento de la demanda hídrica deriva del crecimiento económico y poblacional ([Shokhujueva et al., 2023](#); [Yosry et al., 2024](#)). Por ello, se vienen buscando alternativas viables para solventar la demanda de agua en la agricultura ([Rodríguez, 2021](#)).

En el Perú, la distribución de la población es heterogénea, dado que más del 80 % se concentran en zonas urbanas, muchas de ellas en zonas costeras, generando una alta demanda del recurso hídrico. Como consecuencia del uso intensivo de este recurso, se generan grandes cantidades de aguas residuales, tanto negras como grises ([Anaya et al., 2022](#)). Las aguas grises, originadas principalmente por actividades domésticas como el lavado de prendas, e higiene personal, tras su tratamiento pueden ser reutilizables en algunos sectores, como el agrícola ([Bautista-Gómez et al., 2023](#)). Acotando a ello, se menciona que las aguas urbanas, que incluyen aguas grises, son un recurso valioso, más no un residuo ([Chávez et al., 2023](#)). Por lo que aprovechar este insumo es indispensable para optimizar la disponibilidad hídrica en zonas agrícolas y urbanas.

Las aguas residuales domésticas hacen referencia a aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.), consisten básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares. La caracterización de la calidad de las aguas residuales domésticas se basa en determinar el olor, color, temperatura, densidad, turbiedad, sólidos totales, nitratos, sulfatos, cromo, hierro, cloruros, calcio, zinc, y el pH ([Osorio-Rivera et al., 2021](#)). La prueba de germinación y alargamiento de la raíz se utiliza como un método sencillo y eficaz para evaluar si el agua, incluidas las aguas grises, contiene sustancias que pueden afectar negativamente el crecimiento de las plantas. Este procedimiento es especialmente relevante porque la semilla en proceso de germinación representa la primera interfaz entre la planta en desarrollo y el entorno, lo que la convierte en un bioindicador altamente sensible frente a condiciones adversas. Diversos estudios han respaldado el uso de esta técnica para analizar la calidad del agua y su impacto en las etapas iniciales del desarrollo vegetal ([Ceballos Maldonado & Carranza Álvarez, 2020](#)).

Para reutilizarlas se puede emplear diferentes tipos de tratamiento, que incluyen sistemas físicos, químicos y biológicos. El problema es que muchos de estos sistemas de tratamiento requieren de extensas áreas horizontales, gran consumo de energía y costos elevados para su funcionamiento, lo cual dificulta su aplicación en el lugar de generación, más aún en ciudades que carecen de espacio horizontal suficiente ([Mendoza, 2023](#)).

La destilación es un proceso que utiliza calor para separar los componentes de una mezcla líquida según su volatilidad ([Zhao Zhao, 2022](#)). La destilación solar es un proceso que permite obtener agua potable a partir de fuentes contaminadas, como el agua de mar o aguas dulces con impurezas. Este método se basa en la evaporación del agua almacenada en un embalse, la cual, al contener sales u otros contaminantes, se separa de éstos al convertirse en vapor. Posteriormente, el vapor se condensa en una superficie distinta, dando como resultado agua purificada. Este proceso réplica el principio natural del ciclo hidrológico, donde la energía solar impulsa la evaporación y posterior condensación del agua, lo que convierte a la destilación solar en una alternativa sostenible y eficiente para la potabilización. Mientras que un destilador solar es un dispositivo que permite purificar agua mediante la energía del sol. Está compuesto por una charola horizontal de color negro, que actúa como colector solar y contiene el agua a destilar. Esta charola transforma la radiación solar en calor, elevando la temperatura del agua hasta provocar su evaporación. Sobre ella se dispone una cubierta de vidrio u otro material transparente que cumple la función de condensador, permitiendo que el vapor generado se enfríe y se transforme nuevamente en agua líquida purificada ([Hermosillo-Villalobos, 1989](#)).

En este marco, la carencia de agua apta para la agricultura en zonas costeras representa un desafío significativo en diversas regiones del Perú. Incluso en departamentos como Ica, la disponibilidad hídrica limitada ha incitado conflictos entre las comunidades locales y las empresas ([Córdova et al., 2023](#)).



En la actualidad esta problemática despertó el interés de los investigadores, quienes plantearon diversos métodos con la finalidad de recuperar las aguas grises, una de ellas son los coagulantes naturales, pero estas dependen en gran medida de la disponibilidad de dicho recurso en cada región. Además, se plantearon otras alternativas como la ósmosis inversa, electrodiálisis, electrocoagulación y tratamientos biológicos, que, si bien tratan el agua gris, ostentan un elevado costo y requieren condiciones específicas ([Balasubramaniyan et al., 2024](#); [Osra, 2025](#); [Elkhwass et al., 2024](#)). Un sistema de filtración que utiliza grava, arena y carbón activado alcanza eficiencias de eliminación de entre el 60.8% y el 100% en turbidez, DBO, DQO, carbono total y coliformes fecales, aunque este método presenta resultados relevantes, las desventajas que conlleva son igual de relevantes, entre ellas se encuentran que el carbón activado y las zeolitas producen residuos al saturarse, requieren ser reemplazados y no son efectivos en la eliminación de detergentes, colorantes ni compuestos emergentes ([Uceвли & Kaya, 2020](#)). Tecnologías como los reactores UASB, SBR y MBR, se caracterizan por su confiabilidad y coste-efectividad; sin embargo, presentan algunas limitaciones, como la producción de lodo, la necesidad de aportar nutrientes adecuados, y la incapacidad para eliminar por completo los sólidos suspendidos o la turbidez ([ShiGuang et al., 2021](#)).

En Tacna, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ([Congreso de la República del Perú, 2024](#)), mientras que el 99.3% de la zona urbana tiene acceso a agua potable, en las áreas rurales solo el 77.6 % de la población tiene acceso a este servicio. Además, reportaron que la situación es crítica en 7 distritos del Cercado de Tacna, donde las redes de agua necesitan ser renovadas debido a la antigüedad y el deterioro de las infraestructuras actuales.

La reutilización de aguas residuales tratadas no solo contribuye a la conservación de recursos hídricos, sino que también aporta a la agricultura para el desarrollo de cultivos, mejorando la productividad y reduciendo la dependencia de fuentes de agua naturales. ([Boularbah et al., 2024](#)). Estudios recientes destacan a los destiladores solares como una alternativa eficiente, sostenible y de bajo costo para la obtención de agua purificada a partir de fuentes contaminadas ([Arunkumar et al., 2022](#); [Issaq et al., 2023](#)).

La principal intrigante que el presente estudio tiene como objeto responder es, ¿Cuál es el efecto de las aguas grises destiladas, con y sin ebullición, sobre la germinación del tomate (*Solanum lycopersicum*)?, para poder responder esta interrogante es necesario obtener respuestas de las siguientes interrogantes: primero, ¿Es posible elaborar destiladores solares con y sin ebullición para la destilación de aguas grises?; segundo, ¿Cuáles son los parámetros físicos y químicos de las aguas grises destiladas mediante ambos procesos (DSCE Y DSSE)? y tercero, ¿Qué efecto tienen los diferentes tratamientos de agua destilada sobre la tasa y calidad de germinación del *Solanum lycopersicum*?

El presente estudio tiene como objetivo principal analizar el efecto de aguas grises destiladas con y sin ebullición sobre la germinación del tomate (*Solanum lycopersicum*). Para cumplir con ello, se fija con los siguientes objetivos específicos: elaborar destiladores solares con y sin ebullición, analizar parámetros físicos y químicos del agua destilada por ambos procesos y; dimensionar el efecto del tratamiento en la germinación del *Solanum lycopersicum*. Aunado a ello se plantea la hipótesis principal del estudio, las aguas grises destiladas con y sin ebullición tienen efecto sobre la germinación del tomate (*Solanum lycopersicum*). Las hipótesis específicas son: primero, que la elaboración de destiladores solares con y sin ebullición hace posible la destilación de aguas grises; segundo, el análisis físico y químico del agua destilada por ambos procesos permiten medir sus parámetros; y tercero, los tratamientos tienen un efecto en la germinación del *Solanum lycopersicum*.

Método

Enfoque Metodológico

Se empleó un enfoque cuantitativo, generando y analizando datos estadísticos que se obtuvieron mediante las pruebas realizadas a los componentes del estudio, datos como el rendimiento, eficiencia, la variación de los parámetros y el índice de germinación fueron analizadas para cumplir con el fin del estudio.

Diseño de Estudio

El estudio se enmarcó en un diseño experimental completamente al azar (DCA), con asignación aleatoria de tratamientos y evaluación única tras un período de incubación.



El ensayo de germinación se realizó utilizando placas Petri, papel filtro, semillas de *Solanum lycopersicum*, agua destilada sin ebullición (ADSE), agua destilada con ebullición (ADCE) y agua gris como testigo. La metodología empleada se basó en los índices descritos por [Tiquia \(2000\)](#) y [Hoekstra \(2002\)](#), adaptados para condiciones del laboratorio de aguas.

Para el desarrollo experimental, se recortó papel filtro del tamaño de la base de las placas Petri y se colocó en su interior. Sobre este, se dispusieron 15 semillas de tamaño regular por cada placa. Posteriormente, se aplicaron 10 ml de ADSE, ADCE y agua de gris sobre las semillas, utilizando una pipeta para garantizar una distribución uniforme.

Las placas se mantuvieron durante cinco días en condiciones de oscuridad a temperaturas ambientales (20 a 25 °C). Transcurrido este periodo se observaron brotes en las semillas de *Solanum lycopersicum*. Una vez identificadas, se midieron las radículas con papel milimetrado y se estimó el porcentaje de germinación relativa (PGR), crecimiento de radícula relativa (CRR) e índice de germinación (IG) con las ecuaciones (1), (2) y (3). Este procedimiento se replicó para cada placa Petri.

$$PGR = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en la muestra}}{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas en el testigo}} \times 100 \quad (1)$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radículas en la muestra}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} \times 100 \quad (2)$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100} \quad (3)$$

En cuanto al diseño experimental, para el índice de germinación se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos: agua de gris como Grupo Testigo, ADSE y ADCE. Cada tratamiento contó con 3 repeticiones, obteniendo un total de 9 unidades experimentales distribuidas de manera aleatoria. Mientras que para el análisis de las características fisicoquímicas se emplearon 2 tratamientos (ADSE y ADCE) y 4 repeticiones, ello con el fin de maximizar la exactitud de los datos, además se trabajó con la remoción (%), el cual fue calculado según la metodología de [Bakry et al. \(2018\)](#).

Tipo de Estudio

El propósito de este estudio fue el de explicar los efectos que tiene el proceso de destilación en los parámetros mediante experimentación periódica, además la manera en que esta influye en la germinación de semillas mediante una prueba de germinación.

Población y Muestra

La muestra de agua gris fue recolectada de viviendas ubicadas en la urbanización denominada Asociación La Perla, del distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, departamento de Tacna, Perú, con coordenadas geográficas 18° 3'46.94" Sur, 70°14'39.59" Oeste y a una altitud de 552 m.s.n.m. Estas aguas se originaron en el proceso de lavado de prendas de vestir realizado por los habitantes de dicha asociación.

Técnicas de Recolección de Datos

Para obtener los datos se emplearon los experimentos y el registro continuo de los resultados obtenidos mediante la destilación solar de los prototipos.

Caracterización del Agua Gris y Destilada. La muestra de agua gris fue recolectada en una botella de tereftalato de polietileno (PET) con capacidad de 2.5 litros. Posteriormente, fue transportada para su análisis, al laboratorio de aguas ubicado en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú, con coordenadas geográficas 18° 1'25.82" Sur, 70°14'45.99" Oeste y a una altitud de 552 m.s.n.m. Se determinaron sus parámetros iniciales tales como turbidez, conductividad, potencial de hidrógeno (pH) y sólidos suspendidos totales (SST).

Las aguas destiladas mediante los dos destiladores (DSSE y DSCE) pasaron por el mismo proceso para su respectiva caracterización.

Instrumentos

Para la destilación de aguas grises se elaboraron dos tipos de destiladores con el fin de obtener las muestras para el estudio y la recolección de datos.



Destilador Solar sin Ebullición (DSSE)

Se elaboró a base de vidrio, debido a sus destacadas propiedades térmicas y de transparencia, lo que explica su amplia utilización en destiladores solares ([Elashmawy et al., 2024](#)), además, [Feria-Diaz et al. \(2022\)](#) basó todo su estudio en destiladores de vidrio, puesto que este permite el paso de la radiación solar de manera eficiente. Las dimensiones del dispositivo fueron las siguientes: la base mide 0.3 m por 0.5 m; la altura varía según las vertientes, siendo 0.35 m el lado más alto y 0.15 m el más bajo. Esta diferencia en alturas genera una vertiente con un ángulo de inclinación de 33.69°.

Destilador Solar con Ebullición (DSCE)

Se basó en una cocina solar parabólica, capaz de interceptar la mayor parte de las ondas solares incidentes y concentrarlas en un único punto denominado foco. Entre sus características destacan, la amplia superficie de captación y la eficiente concentración de los rayos incidentes ([López González et al., 2024](#)). Este destilador se elaboró a partir de una antena parabólica reutilizada, cubierta de espejos para captar la radiación solar.

Análisis de Datos

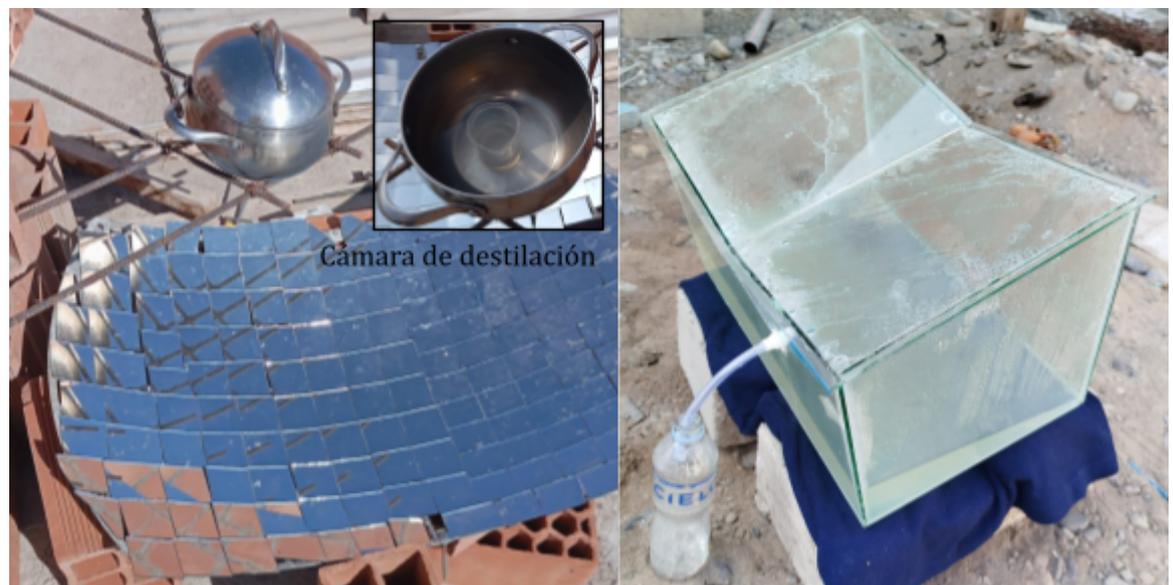
Para el análisis estadístico de los resultados, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), asumiendo los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas debido al diseño completamente al azar y la distribución observada de los datos, aunque no se realizaron pruebas formales. Se utilizó la prueba F con un nivel de significancia de 0.05. Ante diferencias significativas entre tratamientos, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey con el software InfoStat versión 2020I.

Resultados

Elaboración de Destiladores Solares con y sin Ebullición

Fotografía 1

DSCE y DSSE elaborados para el estudio



En la Fotografía 1 se presentan los destiladores solares elaborados para el estudio: el destilador solar sin ebullición (DSSE), construido en base de vidrio, y el destilador solar con ebullición (DSCE), basado en una cocina solar parabólica. Ambos prototipos permitieron la recolección de agua destilada a partir de aguas grises, cada uno con características de diseño y funcionamiento distintas. El DSSE opera de forma pasiva, mientras que el DSCE concentra radiación solar en un punto focal, alcanzando el punto de ebullición.

El DSCE obtuvo una superficie de influencia de radiación de 0.5 m², la cual redirecciona los rayos del sol y la concentran en la cámara de destilación, calentando hasta llegar al punto de ebullición en horas de alta radiación solar, a diferencia del DSSE, que destila de forma pasiva durante el día, dependiendo de la radiación del solar, pero no en horarios específicos.



En la Tabla 1 se calculó el rendimiento de los destiladores y su eficiencia, para el DSSE se calculó el rendimiento diario y para el DSCE por hora, dado que es influenciado por el movimiento del sol en el cielo terrestre.

Tabla 1
Rendimiento y eficiencia de los destiladores solares

Destilador	Rendimiento	Eficiencia (%)
DSSE	216.667 ml/día	39.533
DSCE	30.800 ml/h	30.933

Las eficiencias son mayores para el DSSE, dado que destila durante todo el día, y el rendimiento del mismo se data en ml/día, por el mismo caso.

Análisis de los Parámetros Físicos y Químicos del Agua Destilada por ambos Procesos

Los resultados del análisis de varianza de los parámetros (conductividad, turbidez y pH) muestran un p-valor menor a 0.05, lo que indica la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En cuanto al tratamiento que destaca entre los dos destiladores, se evidencia que (tras una prueba de rango múltiple de Tukey) el Tratamiento con el DSCE lidera en la mejora de los parámetros de turbidez y conductividad, Por otro lado, el tratamiento con el DSSE se destacó particularmente en la regulación del pH (ver tabla 2).

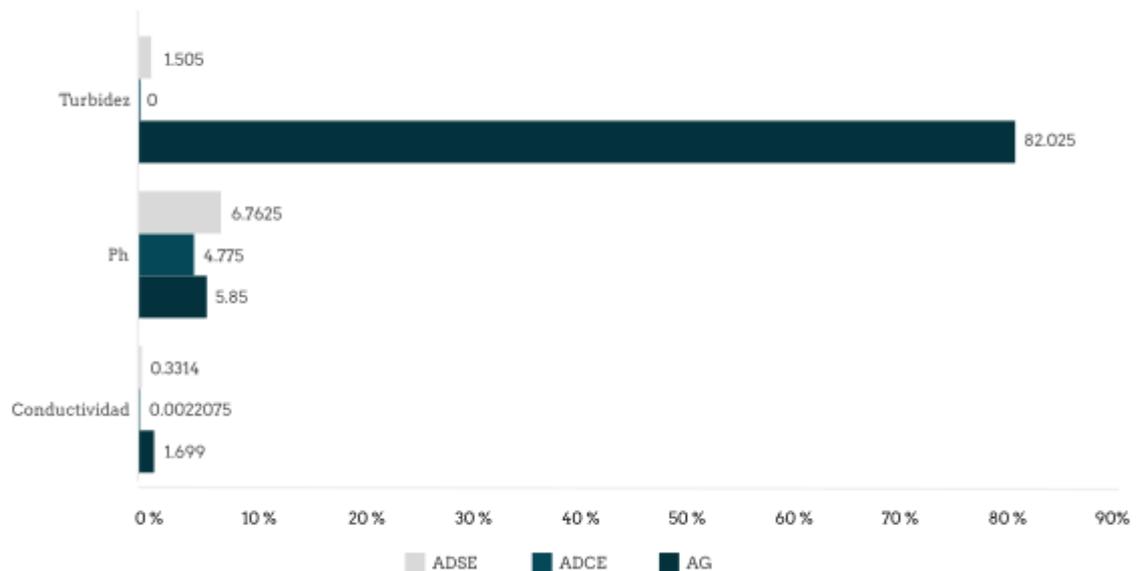
Tabla 2
Resultados del análisis de varianza para los parámetros

Criterio	Parámetros		
	Conductividad (uS/cm)	Turbidez NTU	pH
ADCE	2.208	0.000	4.775
ADSE	331.400	1.505	6.763
Agua Gris	1698	82.025	5.850
Resumen de las tablas ANOVA de cada parámetro			
p-valor	<0.0001	<0.0001	0.0167
CV	0.033	7.041	0.067

Nota. Se realizó un análisis de varianza para cada parámetro, los valores de los parámetros son los promedios de las repeticiones del DCA.

Gráfico 1

Promedio de los parámetros físicos y químicos del agua destilada con y sin ebullición y el agua gris



El Gráfico 1 muestra los valores promedio de los parámetros físico-químicos (pH, conductividad eléctrica y turbidez) del agua tratada mediante los dos tipos de destilación y del agua gris sin tratar. Se observa que el tratamiento con ADCE presentó los valores más bajos de conductividad (2.208 μ S/cm) y turbidez (0 NTU), mientras que el ADSE obtuvo un pH más cercano a la neutralidad (6.763), valor



favorable para la germinación de semillas. Estos resultados reflejan diferencias importantes en la eficiencia de los tratamientos según el parámetro evaluado.

Efecto de los Tratamientos en la Germinación del Solanum Lycopersicum

Los resultados del análisis de varianza del índice de germinación muestran un p-valor menor a 0.05, lo que evidencia una diferencia significativa entre los tratamientos (DSCE y DSSE). Esto indica que un tratamiento es diferente al otro con un 95 % de confianza (Tabla 3).

Tabla 3
Análisis de varianza del índice de germinación

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamiento	15592.066	2	7796.033	0.050	0.020
Error	6303.287	6	1050.548		
Total	21895.353	8			

El coeficiente de variación (CV = 23.107%) fue aceptable para este tipo de experimento, lo que indica una variabilidad controlada entre las repeticiones.

Según la Tabla 3, el análisis de varianza (ANOVA), mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados (p = 0.020), lo que indica que al menos uno de los tratamientos tuvo un efecto distinto sobre el índice de germinación de *Solanum lycopersicum*.

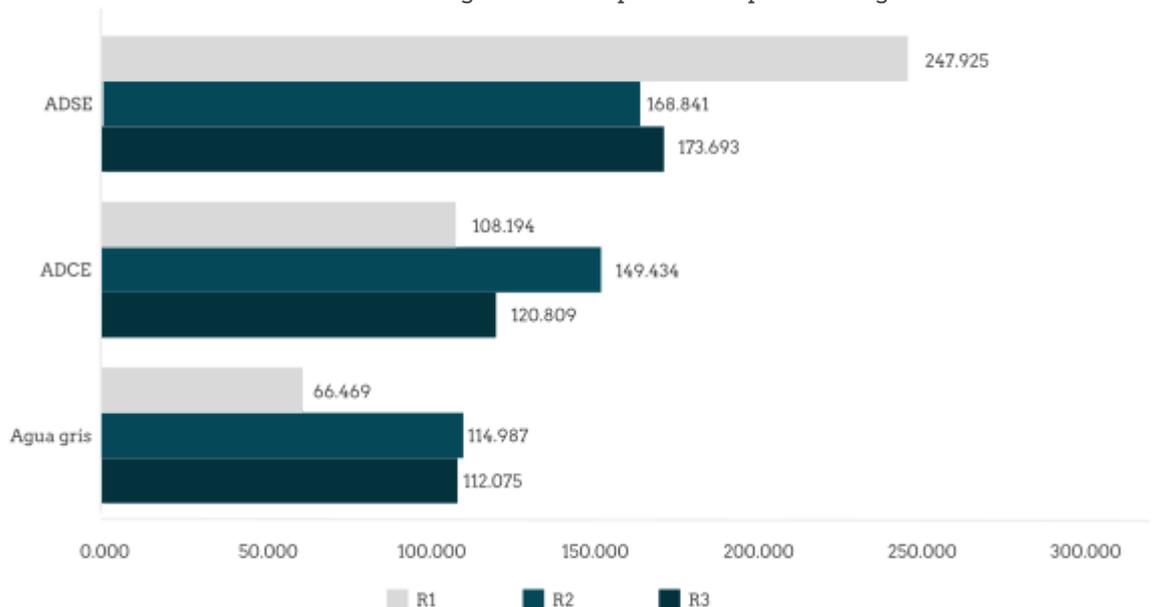
Tabla 4
Prueba de rango múltiple de Tukey del índice de germinación

Tratamiento	Medias	E.E.	Significancia
ADSE	196.820	18.713	A
ADCE	126.146	18.713	A B
Agua gris	97.844	18.713	B

Nota. Las medias están en % y son tomadas con respecto al agua gris, por ello presenta valores por encima del 100 %.

En la Tabla 4, se describe la prueba de rango múltiple de Tukey, la cual permitió identificar que el tratamiento con ADSE presentó un índice de germinación significativamente mayor (196.820%) respecto al tratamiento con agua gris (97.844%), mientras que el ADCE (126.146%) mostró un valor intermedio, sin diferencias estadísticas marcadas respecto a los otros dos tratamientos (grupos A y B compartidos). Estos resultados evidencian que el agua destilada sin ebullición favorece la germinación en mayor medida que el agua gris o la destilada con ebullición.

Gráfico 2
Resultados del índice de germinación por cada repetición registrada



Nota. R1=Repetición 1, R2=Repetición 2, R3=Repetición 3; los valores presentados están en porcentaje (%).



El Gráfico 2 detalla el comportamiento del índice de germinación de Solanum lycopersicum por cada repetición experimental bajo los tres tratamientos evaluados. Se observa que el tratamiento con ADSE mantuvo los valores más altos y consistentes en todas las repeticiones (R1 a R3), con índices de germinación cercanos o superiores al 190%. El tratamiento con ADCE mostró un comportamiento intermedio, mientras que el testigo (agua gris) presentó los valores más bajos y mayor variabilidad entre repeticiones. Estos resultados refuerzan la superioridad del tratamiento con ADSE en la promoción de la germinación.

Síntesis comparativa entre los tratamientos de agua destilada

Tabla 5

Comparación entre tratamientos de agua destilada ADSE y ADCE

Criterio evaluado	ADSE (sin ebullición)	ADCE (con ebullición)	Observación destacada
Rendimiento del destilador	216.667 ml/día	30.8 ml/h	DSSE (ADSE) produce mayor volumen acumulado diario.
Eficiencia del destilador (%)	39.533	30.933	DSSE más eficiente en operación continua.
pH	6.763	4.775	ADSE con pH más cercano a lo neutro, adecuado para semillas.
Conductividad (µS/cm)	331.400	2.208	ADCE reduce mejor los sólidos disueltos.
Turbidez (NTU)	1.505	0.000	ADCE logra remoción completa de turbidez.
Índice de germinación (%)	196.820	126.146	ADSE promueve mejor germinación de <i>S. lycopersicum</i> .
Compatibilidad agronómica	Alta	Media	ADSE más adecuado para riego sin ajustes previos.

Nota: Los valores presentados son promedios según las repeticiones experimentales. El índice de germinación se calculó en base al tratamiento testigo (agua gris).

La Tabla 5 muestra una comparación consolidada entre los dos tratamientos de agua destilada empleados en la investigación: agua destilada sin ebullición (ADSE) y agua destilada con ebullición (ADCE). En esta se contrastan los principales parámetros analizados, agrupando los resultados del rendimiento de los destiladores, la calidad físico-química del agua obtenida (pH, conductividad, turbidez) y el efecto biológico en la germinación de Solanum lycopersicum. Los datos revelan que, aunque el tratamiento con ebullición (ADCE) alcanza una mayor eliminación de contaminantes (conductividad y turbidez), el tratamiento sin ebullición (ADSE) promueve un mayor índice de germinación, probablemente por su pH más próximo a la neutralidad. Este resumen facilita la identificación clara de las ventajas y limitaciones de cada método de tratamiento, y enfatiza la relevancia de evaluar tanto la eficiencia físico-química como la compatibilidad agronómica en la reutilización de aguas tratadas.

Discusión

El tratamiento que tuvo mayor influencias y mejora en el índice de germinación fue el ADSE, con una media de 196.820 % con respecto al tratamiento testigo, mientras que el tratamiento con ADCE ocupó el segundo lugar en el índice de germinación con un 126.146 % y como el tratamiento con menor eficiencia fue el agua gris con una media menor al 100 %.

La influencia del ADSE en la germinación del Solanum lycopersicum mostró un valor positivo y superior al ADCE, pese a que este último mostraba superioridad de remoción en cuanto a parámetros de conductividad y turbidez se refiere y sólo fue superado por el ADSE en la variable de pH. Esto se compara con el estudio de [Gentili et al. \(2018\)](#) donde los mejores porcentajes de germinación se observan en rangos de pH entre 5 y 7, además, menciona que valores de pH fuera de este rango reducen significativamente la germinación.

Con relación al análisis del efecto de aguas grises destiladas con y sin ebullición sobre la germinación del tomate (Solanum lycopersicum), tras un día de destilación, el DSSE obtuvo un rendimiento de 216.667 ml/día, inferior a los valores reportados por [Córdova et al. \(2023\)](#), quienes registraron más de 400 ml/día y una eficiencia del 44 % en su destilador solar de tipo una vertiente, frente al 39.533 %



obtenido en este estudio. Esta diferencia [Alwan et al. \(2024\)](#) y [Najaf y Aslan \(2024\)](#) la atribuyen a los factores climáticos, como la radiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento, dado que no se pueden controlar, así como al diseño del destilador.

En comparación con el presente estudio, en el cual se desarrollaron y evaluaron dos sistemas de destilación solar, uno con ebullición (DSCE) y otro sin ebullición (DSSE), para el tratamiento de aguas grises, el estudio de [Villalón et al. \(2024\)](#) explica que la destilación con ebullición es un método eficaz para tratar la dureza permanente del agua, provocada por sales no carbonatadas de calcio y magnesio, como los sulfatos, las cuales no precipitan al calentar el agua. En este proceso, el agua se somete a ebullición para lograr su evaporación y luego se condensa el vapor, separando así las sales disueltas. Los autores destacan que, a diferencia de la dureza temporal, que sí puede eliminarse mediante calentamiento, la dureza permanente requiere procesos más avanzados como la destilación, la desionización o la ósmosis inversa.

Por otro lado, el trabajo de [Zamora-Oduardo et al. \(2020\)](#) empleó agua magnetizada como tecnología de mejora hídrica, con resultados positivos en el crecimiento y productividad del tomate. Mientras que nuestro enfoque se centró en el diseño y eficiencia de los dispositivos de destilación, alcanzando rendimientos de 216.667 ml/día (DSSE) y 30.8 ml/h (DSCE), los autores mencionados demostraron que el tratamiento con agua sometida a campos magnéticos estáticos (ATM2: 100–200 mT) elevó significativamente la altura de las plantas (24.2 cm vs. 11.95 cm del control) y el rendimiento agrícola (90.4 t/ha vs. 70.4 t/ha del control), atribuyéndolo a una mejora en la absorción de nutrientes y estimulación celular. A pesar de que ambos estudios aplican tecnologías alternativas para optimizar el uso del agua, la presente investigación se diferencia al priorizar la potabilización solar de aguas residuales como etapa previa a su uso agrícola, con especial énfasis en el comportamiento germinativo. En contraste, el estudio de [Zamora-Oduardo et al. \(2020\)](#), se enfocó en la fisiología y productividad de plantas ya establecidas, lo que evidencia distintos puntos de intervención en el ciclo fenológico del cultivo. Así, ambos enfoques resultan complementarios en la búsqueda de soluciones sostenibles para el manejo del recurso hídrico en agricultura.

Respecto al análisis de los parámetros físicos y químicos del agua destilada por ambos procesos (DSCE y ADCE), en el caso del DSCE, se obtuvo 174 ml en 5 horas con una eficiencia de 30.933 %, menor a los 1,125 ml/día en 1 m² reportados por [Sharshir et al. \(2020\)](#), diferencia explicada también por condiciones térmicas variables en el estudio de [Panchal et al. \(2020\)](#).

En cuanto al pH, el valor promedio del ADSE fue 6.763, cercano al 7.05 reportado por [Córdova et al. \(2023\)](#) y dentro del rango recomendado por [Rodríguez \(2021\)](#), quien sugiere un valor próximo a 6.667. En contraste, el ADCE presentó un pH de 4.775, considerado ácido, lo cual contrasta con los estándares recomendados por la OMS y con lo reportado por [Mohammed et al. \(2024\)](#). Estos datos permiten concluir que el DSSE mantiene niveles de pH más adecuados para el uso agrícola.

En lo que refiere a la conductividad, el ADCE alcanzó un valor de 2.208 µS/cm, notablemente inferior al ADSE (331.400 µS/cm), lo que evidencia una mayor eficiencia del DSCE en la remoción de sólidos disueltos. Aunque el valor del ADSE también muestra una reducción significativa frente al agua gris original, no coincide con los rangos esperados según [Córdova et al. \(2023\)](#), posiblemente debido a la exposición del sistema DSSE al ambiente, lo que podría haber influido en el aumento de la conductividad.

En términos de turbidez, el ADCE alcanzó una remoción completa (0.000 NTU), frente al ADSE (1.505 NTU), siendo ambos valores cercanos a lo reportado por [Córdova et al. \(2023\)](#). Si bien el DSCE muestra una ligera ventaja, ambos tratamientos lograron reducciones significativas, sin que exista una diferencia sustancial para este parámetro.

Finalmente, la dimensión del efecto del tratamiento en la germinación del Solanum lycopersicum, el ADSE obtuvo el mejor índice, superando significativamente al ADCE y al testigo. Esta ventaja se atribuye al pH neutro del ADSE, dentro del rango óptimo de 5 a 7 señalado por [Gentili et al. \(2018\)](#), mientras que el carácter ácido del ADCE habría limitado la germinación, a pesar de su mayor eficiencia físico-química.

Por su parte, [Karaer \(2025\)](#) demostró que el uso de aguas residuales tratadas mediante filtración por membranas incrementó significativamente la germinación y el crecimiento inicial de semillas de maíz, sin efectos negativos sobre la sanidad del suelo o de las plantas. Por otro lado, el estudio de [Ferrarezi et al. \(2022\)](#) señalan que nutrientes esenciales como N, K, Ca y Mg son más disponibles alrededor de pH 6,0–6,5. Además, destacan que el pH del sustrato no solo influye en la disponibilidad de nutrientes, sino también en la composición del microbioma rizosférico. Encontraron que condiciones de pH ácido (4–5) favorecieron la presencia de bacterias como Proteobacteria y Acidobacteria, mientras que pH alcalinos (8–9) incrementaron la diversidad de Bacteroidetes. Estos



cambios microbianos podrían modular indirectamente la absorción de nutrientes y la tolerancia al HLB en cítricos.

Tras un día de destilación se obtuvo un total de 216.667 ml/día destiladas con el DSSE, que muestra un rendimiento relativamente bajo en comparación a los resultados obtenidos por [Córdova et al. \(2023\)](#), quienes reportan valores superiores a los 400 ml/día y una eficiencia del 39.533 %, menor al 44 % documentado en el mismo estudio. Esta diferencia, según [Alwan et al. \(2024\)](#) y [Najaf y Aslan, \(2024\)](#), surge porque el rendimiento de los destiladores depende de las variabilidades en la temperatura y el diseño, y concuerdan con lo reportado por [Córdova et al. \(2023\)](#), quienes concluyen que el incremento de la temperatura en el interior del destilador solar influye en la evaporación del agua. [Uslu et al. \(2025\)](#) reportaron que el uso de agua contaminada con metales pesados afectó negativamente la germinación y el crecimiento inicial de plántulas, evidenciando que la calidad del agua incide directamente en el rendimiento agrícola.

[Panchal et al. \(2020\)](#) obtuvieron una eficiencia del DSCE del 30.933 %, debido a las variabilidades en la temperatura. Aunado a ello, [Feria-Díaz et al. \(2022\)](#) añadieron que el desempeño de su destilador solar se vio influenciado por las condiciones climáticas durante los días de ensayo, especialmente los días de baja radiación solar y la elevada variabilidad en la nubosidad a lo largo de cada jornada, lo cual se evidenció en el presente estudio.

Por otro lado, [Baticados et al. \(2020\)](#) reportaron que la aplicación de tratamiento con plasma de oxígeno, junto con la modificación con grafeno en el condensador y el absorbedor del destilador solar, mejoró significativamente el rendimiento del prototipo. La productividad del sistema original fue de 2,90 L/m² por día, mientras que la unidad modificada alcanzó un promedio de 4,32 L/m² por día, lo que representa un incremento del 48,9 %. Esta mejora es respaldada por lo señalado por [Belhout et al. \(2022\)](#), quienes afirman que los factores determinantes en la productividad de un destilador solar son las condiciones climáticas, el diseño del dispositivo y las condiciones operativas.

En lo que refiere al valor de pH, [Rodríguez \(2021\)](#) menciona que el pH del agua destilada (sin ebullición) debe ser cercano a 6.667, en el presente estudio se obtuvo un valor promedio de 6.763 para el ADSE, mientras que en la investigación que realizaron [Córdova et al. \(2023\)](#) fue de 7.05 mediante destilación solar (sin ebullición); estos valores no presentan una diferencia significativa entre sí. Sin embargo, sí existe una diferencia significativa con el pH del ADCE, que fue de 4.775. El agua obtenida mediante el DSCE evidencia un pH muy ácido. Este comportamiento también contrasta con lo reportado por [Mohammed et al. \(2024\)](#) que, mediante un destilador solar (sin ebullición), se obtiene un pH dentro de los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La medición de la conductividad da a conocer que el ADCE tiene un valor mucho menor al ADSE, con valores de 2.208 uS/cm y 331.400 uS/cm respectivamente, evidenciando que el DSCE es un mejor tratamiento para la conductividad. El estudio de Cordova et al. (2023) reportó un valor de 120.45 uS/cm para el agua ADSE, mientras que [Rodríguez \(2021\)](#) mencionó que el valor de la conductividad del ADSE debe estar entre 17.788 µS/cm y 97.148 µS/cm.

Aunque los valores de conductividad de este estudio se redujeron de manera significativa y no guardan relación o cercanía con la literatura consultada. Por ello, es importante considerar que el sistema del DSSE no es completamente cerrado en su totalidad, dada la influencia del medio en el que se encuentra en contacto con el ADSE, como el polvo y aire, aumentando la conductividad; sin embargo, es necesario destacar que los valores no son muy alejados.

Por otro lado, el tratamiento de DSCE muestra una conductividad de 2.208 uS/cm, siendo este valor mucho menor a los resultados obtenidos por [Cordova et al. \(2023\)](#) y [Rodríguez \(2021\)](#) evidenciando que el DSCE es un mejor tratamiento para el parámetro de conductividad. Reforzando los resultados del presente estudio se cita a [Belhout et al. \(2022\)](#) el cual mostró una reducción de la conductividad de 51 mS/cm a 0.2 mS/cm (200 uS/cm) con un destilador solar acoplado a un colector solar térmico. De igual manera, [Baticados et al. \(2020\)](#) documentaron una reducción de la conductividad desde valores altos (670 uS/cm) hasta valores de 23.33 uS/cm.

La turbidez medida para el ADCE y ADSE son de 0.000 NTU y 1.505 NTU respectivamente, donde se evidencia que el DSCE tiene una eficiencia en la remoción de la turbidez del 100 %, pero [Cordova et al. \(2023\)](#) describieron que la turbidez después del tratamiento con el DSSE muestra un valor de 1 NTU, y, en este estudio se evidencia un valor de 1.505 NTU. Los valores de turbidez son muy cercanos, tanto para el ADSE, ADCE y la literatura consultada, por ende, ambos procesos tienen una remoción de turbidez similares o cercanos. Por tanto, usar un DSCE o DSSE no tiene una diferencia resaltante para este parámetro, pero sí es necesario mencionar que el DSCE muestra una mejor remoción. Adicionalmente, [Panuganti \(2022\)](#) resaltó que la destilación solar reduce la turbidez, mostrando que



las muestras de agua con valores iniciales de 17 y 19 NTU fueron reducidos hasta valores de entre 0 y 1 NTU, resultados que concuerdan con los del estudio presente.

La influencia del ADSE en la germinación del *Solanum lycopersicum* muestra un valor positivo y superior al ADCE, pese a que este último mostraba superioridad de remoción en cuanto a parámetros de conductividad y turbidez se refiere y sólo fue superado por el ADSE en temas de pH. Un estudio realizado por [Song et al. \(2024\)](#) encontró una correlación negativa entre la conductividad eléctrica (CE) y el índice de germinación, dado que a mayor CE, hay menor germinación o una emergencia anormal; además data que un valor alto de CE refleja daño en las membranas celulares, lo cual añade valor a los resultados de los destiladores del presente estudio que lograron reducir la conductividad del agua gris que en un principio fue de 1698.000 uS/cm, hasta valores menores (2.208 y 331.400 uS/cm).

El estudio de [Mittler et al. \(2022\)](#) concluyó que un pH ácido (<5) promueve la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y radicales libres que oxidan los lípidos de la membrana de las células dañando y afectando su desarrollo, en concordancia, el estudio de [Cherrate et al. \(2023\)](#) mostró que la tasa de germinación óptima se logró a pH 7, mientras que en el presente estudio se evidencian mejores resultados con un pH de 6.667 que es muy cercano, además el mismo autor evidencia que con un pH ácido, por debajo de 5, la germinación es casi nula. Otro estudio realizado por [Zhou et al. \(2024\)](#) dató que la germinación más aceptable se dio en rangos de pH de 6 a 8, acotando que la germinación se ve inhibida tanto por pH menores o mayores a este intervalo, también destaca el pH 6 por encima de 8, lo cual refuerza aún más los resultados del presente estudio.

Alcance y Limitaciones del Estudio

La muestra fue limitada debido a que solo se realizaron tres repeticiones por tratamiento en la prueba de germinación, lo cual reduce la confiabilidad estadística de los resultados. Además, la ausencia de análisis correlacional, se debió a que no se aplicaron pruebas estadísticas que permitan relacionar directamente los parámetros fisicoquímicos del agua con el índice de germinación.

Además, se hace hincapié que no se aplicaron pruebas estadísticas formales para verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos para el análisis de varianza (ANOVA). A pesar de ello, se asumió que los datos cumplían con estos supuestos considerando el diseño experimental completamente al azar (DCA) y la distribución observada de los valores. Esta omisión representa una limitación metodológica que podría afectar la validez estadística de los resultados, por lo que se recomienda que futuras investigaciones incluyan estas pruebas para garantizar una mayor robustez en el análisis.

Asimismo, el control ambiental fue insuficiente, por lo que las condiciones de temperatura y humedad durante la germinación no fueron monitoreadas rigurosamente, lo que puede haber influido en los resultados.

También, se observó una caracterización incompleta del agua gris, puesto que no se analizaron compuestos específicos (detergentes, metales, etc.) presentes en el agua gris utilizada, lo que limita la interpretación del proceso de remoción.

Con relación a la variabilidad climática no controlada, esto influyó en el rendimiento de los destiladores, que dependen directamente de la radiación solar, lo que puede dificultar la replicabilidad del estudio en otras condiciones geográficas o climáticas.

Por último, el diseño abierto del DSSE pudo haber permitido la entrada de partículas externas (polvo, aire), afectando la calidad del agua recolectada, especialmente su conductividad.

Conclusiones

Se construyeron de manera exitosa dos prototipos funcionales para la destilación de aguas grises domésticas, un destilador solar sin ebullición (DSSE) de tipo vidrio pasivo y un destilador solar con ebullición (DSCE) de concentración parabólica. Ambos permitieron obtener agua destilada utilizable para evaluación de germinación, evidenciando la factibilidad de los prototipos mencionados.

Con relación al desempeño de cada destilador, el DSSE mostró mayor rendimiento volumétrico acumulado (216.667 ml/día; eficiencia 39.533%), mientras que el DSCE produjo 30.8 ml/h con eficiencia 30.933%, reflejando modos operativos distintos (pasivo continuo vs. concentración térmica puntual). Estos contrastes sustentan que la elección del sistema depende del patrón diario de radiación disponible y de la demanda de



volumen para el tratamiento de aguas grises domésticas y su posible reutilización en la germinación de *Solanum lycopersicum*. Ambos sistemas mostraron capacidad para reducir significativamente la turbidez y la conductividad del agua residual, siendo el DSCE el que logró una mayor eficiencia en estos parámetros fisicoquímicos.

En cuanto a la calidad fisicoquímica del agua tratada, el tratamiento con ebullición (ADCE) logró la mayor depuración de la fracción físico-química con una conductividad reducida a 2.208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y turbidez 0 NTU, superando al agua destilada sin ebullición (ADSE: 331.400 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1.505 NTU). Esto indica que la etapa de ebullición/concentración térmica mejora de manera notable la remoción de sales y sólidos

También se mostró una diferencia importante en los valores de pH, el ADSE conservó un pH cercano a neutro de 6.763, lo cual es favorable para usos agrónomos; en cambio, el ADCE resultó ácido con un pH 4.775, lo que restringe su aplicación directa sobre semillas sensibles y sugiere necesidad de neutralización o mezcla previa.

Para la germinación hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). El ADSE registró el mayor índice de germinación (196.820%), seguido del ADCE (126.146%) y del testigo con agua gris (97.844%), confirmando que la calidad biológica no depende solo de la remoción de contaminantes sino de la compatibilidad química (pH).

Así, de la literatura se encontró que germinación óptima ocurre en rangos ~5-7 y que condiciones ácidas (<5) pueden reducirla drásticamente y desencadenar estrés oxidativo por ROS; estos hallazgos respaldan el mejor desempeño del ADSE y explican la menor respuesta con ADCE ácido.

El estudio exhibió que es importante considerar la reducción de la conductividad, pero con balance, puesto que, aunque la alta conductividad eléctrica se asocia a inhibición de germinación, ambos tratamientos la redujeron sustancialmente respecto al agua gris inicial (1698 $\mu\text{S}/\text{cm}$); sin embargo, el efecto positivo sobre germinación fue mayor cuando esa reducción vino acompañada de pH adecuado (ADSE).

Se comprobó que la sensibilidad al clima y el diseño son variables que inciden en el resultado, el rendimiento y la calidad del destilado variaron con radiación solar, temperatura ambiente, nubosidad y aspectos de diseño/sellado (posible recontaminación que elevó conductividad en ADSE). Por ello, se afirma que optimizar captura térmica y

aislamiento podría mejorar productividad y consistencia.

Aunque no se realizaron correlaciones estadísticas directas entre los parámetros del agua y los índices de germinación, los datos sugieren una posible interacción entre la calidad química del agua y el desarrollo inicial de las semillas. En consecuencia, se recomienda ampliar futuras investigaciones mediante análisis correlacionales y ensayos a campo abierto que permitan validar la aplicabilidad de estos tratamientos en condiciones agronómicas reales.

En suma, la destilación solar de aguas grises emerge como alternativa de bajo costo y bajo requerimiento energético para ampliar recursos hídricos reutilizables en agricultura, particularmente en contextos urbanos o periurbanos con estrés hídrico.

Se recomienda la aplicación de los conocimientos adquiridos en el presente estudio en condiciones de campo, con el objetivo de validar su aplicabilidad en determinados procesos agrícolas. Asimismo, incentivar el uso de energías renovables, en particular la energía solar como se data en este estudio, así como su aprovechamiento para el desarrollo sostenible de la población y validar en condiciones de campo (cultivos en sustrato/ suelo), ajustar pH cuando se emplee ADCE, evaluar mezclas ADCE+ADSE, escalamiento modular y análisis económico-ambiental para adopción comunitaria basada en energía solar.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés relacionados con la publicación de este artículo.

Referencias

- Alwan, N. T., Ali, B. M., Alomar, O. R., Abdulrazzaq, N. M., Ali, O. M., & Abed, R. M. (2024). Performance of solar still units and enhancement techniques: A review investigation. *Heliyon*, 10(18), e37693. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37693>
- Anaya, F., Espinosa, E. N., Loayza, J. E., Zamudio, R. A., & Yáñez, M. A. (2022). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de riego. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(1), 52-62. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.375>



Arunkumar, T., Sathyamurthy, R., Denkenberger, D., & Lee, S. J. (2022). Solar distillation meets the real world: a review of solar stills purifying real wastewater and seawater. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 22860-22884. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18720-2>

Bakry, S. A., Matta, M. E., & Zaher, K. (2018). Electrocoagulation process performance in removal of TOC, TDS, and turbidity from surface water. *Desalination and Water Treatment*, 129, 127-138. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.23070>

Balasubramaniyan, M., Kasiraman, D., & Amirtham, S. (2024). Chlorella vulgaris in biodesalination: a sustainable future from seawater to freshwater. *Marine Development*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44312-024-00019-0>

Bautista-Gómez, M. I., Rodríguez-Reyes, D. A., Castañeda-Robles, I. E., González-Sandoval, M. del R., & Escalante-Lozano, J. E. (2023). Tratamiento de aguas grises para viviendas de interés social popular. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 11(3), 151-156. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial3.11509>

Baticados, E.J.N., Capareda, S.C., Liu, S. & Akbulut, M. (2020). Advanced Solar Still Development: Improving Distilled Water Recovery and Purity via Graphene-Enhanced Surface Modifiers. *Frontiers in Environmental Science*, 8:531049. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.531049>

Belhout, D., Tigrine, Z., Mosnegutu, E. F., & Benabdelaziz, F. K. (2022). Management of reverse osmosis concentrate by solar distillation. *Water Science & Technology Water Supply*, 22(8), 6490-6503. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.269>

Boularbah, S., El Khoumsi, W., Bourziza, R., Bouriou, M., & Abouabdillah, A. (2024). Treated waste water reuse in agriculture: An Overview. *E3S Web of Conferences*, 492(2024), 05002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449205002>

Ceballos Maldonado, J. G., & Carranza Álvarez, C. (2020). Prueba de toxicidad aguda sobre la germinación y desarrollo de *Raphanus sativus* L. por exposición a aguas residuales de una planta tratadora de Cd. Valles, S.L.P. *Revista Latinoamericana El Ambiente y las Ciencias*, 11(28), 226-229. <https://rlac.buap.mx/sites/default/files/11%20%2828%29-51.pdf>

Chávez, A., Rico, V., Tudela, E., Berrizbeitia, A., & Arzo, M. (2023). Distrito hídrico Tacubaya, Ciudad de México, 2022. Un modelo urbano de escala media para el manejo sostenible de agua en la Ciudad de México. *ARQ (Santiago)*, (114), 80-85. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962023000200080>

Cherrate, M., Radouane, N., Ezrari, S., Echchgadda, G., Maissour, A., Makroum, K., Plavan, G., Abd-Elkader, O. H., & Bouriou, M. (2023). Effects of Temperature, pH, and Salinity on Seed Germination of *Acinos alpinus* subsp. *Meridionalis* and FTIR Analysis of Molecular Composition Changes. *Sustainability*, 15(6), 4793. <https://doi.org/10.3390/su15064793>

Congreso de la República del Perú. (2024, 24 de octubre). Más del 22 % de la zona rural de Tacna sigue sin acceso a agua potable. Comunicaciones. <http://comunicaciones.congreso.gob.pe/damos-cuenta/mas-del-22-de-la-zona-rural-de-tacna-sigue-sin-acceso-a-agua-potable/>

Córdova, P., Zuñiga, R., Barrios, T. O., Córdova, I. C., Zuzunaga, E., & Diaz, S. M. (2023). Destilador solar de tipo una vertiente y la purificación de la calidad del agua, Ica. *Revista Alfa*, 7(21), 511-529. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.232>

Elashmawy, M., Ahmed, M. M., Alawee, W. H., Shanmugan, S., & Omara, Z. (2024). Scientometric analysis and review of materials affecting solar still performance. *Results In Engineering*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102574>

Elkhwass, H. A., Negm, M., & Kamal, S. A. (2024). Enhancing seawater desalination efficiency through optimized pulsed electric field parameters in electrodialysis. *Journal Of Engineering And Applied Science*, 71(1). <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00568-7>

Feria-Díaz, J. J., López-Méndez, M. C., Ortiz-Monterde, L., Médina-Salgado, B. A., & Perez-Rosas, N. C. (2022). Performance Evaluation of Solar Still in Veracruz, Mexico Gulf Coastline. *Water*, 14(10), 1567. <https://doi.org/10.3390/w14101567>

Ferrarezi, R.S., Lin, X., Gonzalez Neira, A.C., Tabay Zambon F, Hu, H., Wang, X., Huang, J.H. & Fan, G. (2022). Substrate pH Influences the Nutrient Absorption and Rhizosphere Microbiome of Huanglongbing-Affected Grapefruit. *Frontiers in Plant Science*, 13:856937. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.856937>



Gentili, R., Ambrosini, R., Montagnani, C., Caronni, S., & Citterio, S. (2018). Effect of Soil pH on the Growth, Reproductive Investment and Pollen Allergenicity of Ambrosia artemisiifolia L. *Frontiers In Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01335>

Hermosillo-Villalobos, J. J. (1989). *Destilación solar*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). <https://core.ac.uk/download/pdf/47243553.pdf>

Hoekstra, N.T., Bosker T. & Lantinga, E.A. (2002). Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.). *Agricult. Ecosys. Environ.* 93, 189-196. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00348-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00348-6)

Issaq, S. Z., Talal, S. K., & Azooz, A. A. (2023). Experimentation on enhancement of solar still performance. *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(4). <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.53239>

Karaer, M. (2025). Effects of Different Treated Wastewater Levels on Maize Germinated in Hydroponic Environment. *Black Sea Journal of Agriculture*, 8(2), 172-177. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1624429>

López González, J. A., Morales Castellanos A. M., Valdivieso Celaya, G., Cruz Bravo, J. A., & Hernández Trujillo, K. E. (2024). Estudio del potencial de uso de una cocina solar parabólica. *Innovación y desarrollo tecnológico*, 16(6), 1372-1378. https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/08/3_51_estudio-del-potencial-de-uso-de-una-cocina-solar-parabolica.pdf

Macedo, Y. M., De Souza, J. L., & Troleis, A. L. (2024). Water shortage: Assessment and analysis on a regional scale. *Jamba Journal Of Disaster Risk Studies*, 16(1). <https://doi.org/10.4102/jamba.v16i1.1649>

Mendoza, G. (2023). Tratamiento de aguas grises mediante un sistema de paredes verdes como política ambiental para la mitigación del cambio climático. *South Sustainability*, 4(1), e073. <https://doi.org/10.21142/ss-0401-2023-e073>

Mittler, R., Zandalinas, S. I., Fichman, Y., & Van Breusegem, F. (2022). Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 23(10), 663-679. <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00499-2>

Mohammed, A. H., Shmroukh, A. N., Ghazaly, N. M., & Elnaby, A. (2024). Implementation of New Stepped Square Pyramid Solar Still for Desalinating Seawater in The Climate of Upper Egypt. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 11(2), 67-74. <https://doi.org/10.30501/jree.2024.424544.1729>

Najaf, F., & Aslan, S. R. (2024). Enhancing water purification in solar stills through incorporation of renewable energy technology: An experimental study on the efficiency and cooling mechanisms - A review. *International Journal of Environmental and Agricultural Technology*, 42(1), 101-110. <https://doi.org/10.18280/ijht.42011>

Osorio-Rivera, M. A., Carrillo-Barahona, W. E., Negrete-Costales, J. H., Loor-Lalvay, X. A., & Riera-Guachichulca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(3). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2360>

Osra, F. A. (2025). Evaluation the effectiveness of the electrocoagulation technique for seawater desalination. *Revista de la Universidad Umm Al-Qura de Ingeniería y Arquitectura*. <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00105-4>

Panchal, H., Sadasivuni, K. K., & Hishan, S. S. (2020). Performance analysis of solar still with different energy-absorbing materials. *International Journal of Ambient Energy*, 41(14), 1656-1662. <http://dx.doi.org/10.1080/01430750.2015.1086683>

Panuganti, L. (2022). Desalination of sea water using solar still. *IOP Conference Series Earth And Environmental Science*, 982(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012035>

Rodríguez, E. (2021). *Comparación de tres destiladores solares para la obtención de agua destilada de mar en Tacna, 2019*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3052>

Sharshir, S. W., Elsheikh, A. H., Peng, G., Yang, N., El-Samadony, M. O. A., & Kabeel, A. E. (2020). Enhancing the solar still performance using reflectors and sliding-wick belt. *Solar Energy*, 207, 665-672. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.11.016>



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.3

JULIO - SEPTIEMBRE
2025

Artículo Científico

7 - 21

Efecto de Aguas Grises Destiladas con y sin Ebullición sobre la Germinación de Solanum Lycopersicum
Cristhian Fernando Gomez Alanoca ORCID: 0009-0009-6628-2470
Michael Tommy Aguilar Guivin ORCID: 0009-0008-3639-1695
Tadeo Elias Quispe Caceres ORCID: 0009-0009-1267-089X
Alex Junior Caceres Calizaya ORCID: 0009-0002-3724-3818
<https://revista.scienceevolution.com>



ShiGuang, C., QiuLi, C., & Yu, Z. (2021). Technical and economical viability of a graywater recycling system employing an integrated preliminary settlement and filtration process. *Water Science & Technology Water Supply*, 21(8), 4239-4253.
<https://doi.org/10.2166/ws.2021.176>

Shokhujaeva, Z., Mamanazarova, N., & Mirjamilova, H. (2023). Ways of efficient use of water in conditions of water resources shortage. *E3S Web Of Conferences*, 463(02035).
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346302035>

Song, Y., Zhao, W., Su, Z., Guo, S., Du, Y., Song, X., Shi, X., Li, X., Liu, Y., & Liu, Z. (2024b). Effect of Pulsed Electric Field Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of *Scutellaria baicalensis*. *Agriculture*, 14(1), 158.
<https://doi.org/10.3390/agriculture14010158>

Tiquia, S. M. (2000). Evaluating Phytotoxicity of Pig Manure from the Pig-on-Litter System. *P.R. Warman y B.R. Taylor, Ed.* 625-647.
https://www.academia.edu/23009812/Evaluating_Phytotoxicity_of_Pig_Manure_from_the_Pig_on_Litter_System

Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water Supply and Water Scarcity. *Water*, 12(9).
<https://doi.org/10.3390/w12092347>

Uceqli, O., & Kaya, Y. (2020). A comparative study of membrane filtration, electrocoagulation, chemical coagulation and their hybrid processes for greywater treatment. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104946.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104946>

Uslu, Ö. S., Gedik, O., Kaya, A. R., Erol, A., Babur, E., Khan, H., Seleiman, M. F., & Wasonga, D. O. (2025). Effects of Different Irrigation Water Sources Contaminated with Heavy Metals on Seed Germination and Seedling Growth of Different Field Crops. *Water*, 17(6), 892.
<https://doi.org/10.3390/w17060892>

Villalón, A.L., Gonzalez Bronzatti, J.A., Flores, P.L., Gomez, A.E.M., De Souza, R. Q., Jiménez, D.J.V. & Laranjeira, P.R.. (2024). El uso del agua para el reprocesamiento estéril en América Latina. *American Journal of Infection Control*, 52(7). <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2024.10.018>

Yosry, N., Elgendy, E., Mostafa, A., & Fatouh, M. (2024). Hybrid air conditioning and seawater desalination system assisted by solar energy: thermoeconomic investigation and optimization. *Journal Of Engineering And Applied Science*, 71(1).
<https://doi.org/10.1186/s44147-024-00480-0>

Zamora-Oduardo, D., Rodríguez-Fernández, P., Ferrer-Dubois, A., Fung-Boix, Y., Isaac-Aleman, E., & Asanza-Kindelán, G. (2020). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. *Ciencia en su PC*, 1, 60-74.
<https://www.redalyc.org/journal/1813/181363107005/html/>

Zhao Zhao, L. (2022) *Industrial Applications and Types of Distillation*. *Pharmaceutical Analytical Chemistry*. 7: 164.
<https://www.longdom.org/open-access/industria-l-applications-and-types-of-distillation.pdf>

Zhou, Z., Li, J., Yang, Y., Gao, Y., Wang, X., Huang, H., Wang, R., Wang, P., & Zhao, L. (2024). Effects of karst environmental stresses on seed germination and seedling growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 8.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1510596>