

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA”**

Realizado por:

GABRIELA SARAHÍ MARTÍNEZ LÓPEZ

Director del proyecto:

M.Sc. Alberto Alejandro Aguirre Bravo, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

Quito, 15 de septiembre de 2023

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, GABRIELA SARAHÍ MARTÍNEZ LÓPEZ, con cédula de identidad # 175088875-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

175088875-0

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA”**

Realizado por:

GABRIELA SARAHÍ MARTÍNEZ LÓPEZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA

ha sido dirigido por el profesor

ALBERTO ALEJANDRO AGUIRRE BRAVO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor.



FIRMA

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JESÚS LÓPEZ VILLADA

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

Después de revisar el trabajo presentado, lo han
calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 15 de septiembre de 2023

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

DEDICATORIA

A mi familia, maestros y a todos los responsables de
mi formación personal y académica.

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

AGRADECIMIENTO

A mi familia, maestros y la universidad,

Gracias.

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

Para someter a:

To be submitted:

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

Gabriela Sarahí Martínez López¹, Alberto Aguirre Bravo¹

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador

Autor de correspondencia:

Gabriela Sarahí Martínez López, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador

gabriela.martinezl@uisek.edu.ec

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Resumen

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es una serie de procesos que permiten la transformación de agua entre estado sólido, líquido y gaseoso. Dentro de su forma gaseosa se han encontrado partículas biológicas como bacterias, las cuales pueden actuar como núcleos de condensación (CCN) favoreciendo la formación de gotas de agua en las nubes con la capacidad de precipitar. Tomando en consideración esto, se planteó la modelación de un sistema de condensación con bacterias ambientales aisladas de Papallacta capaces de obtener mayor cantidad de agua condensada a partir de aire en comparación con un control sin bacterias. Así pues, se recolectaron y aislaron bacterias aéreas del sitio de estudio, las cuales fueron contabilizadas y utilizadas en un sistema de condensación. Con ello se logró producir agua condensada en tratamientos con bacterias ambientales. Además, se observó que las temperaturas bajas favorecen la obtención de agua demostrando que, pese a que la acción bacteriana no es descartable, la temperatura representa una variable con mayor relevancia.

Palabras clave:

Sistema de condensación; agua condensada; temperatura; bacterias ambientales; conteo microbiano; Papallacta.

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Abstract

The water or hydrological cycle is a series of processes transforming water between solid, liquid, and gaseous states. Within its gaseous form, biological particles such as bacteria have been found, which can act as condensation nuclei (CCN), favoring the formation of water droplets in clouds with the ability to precipitate. The modeling of a condensation system with environmental bacteria isolated from Papallacta capable of obtaining more condensed water from air compared to a control without bacteria was proposed. Thus, airborne bacteria were collected and separated from the study site, counted, and used in condensation, resulting in the production of condensed water in treatments with environmental bacteria. In addition, it was observed that low temperatures favor water production, demonstrating that, although bacterial action cannot be ruled out, temperature represents a variable with greater relevance.

Key words:

Condensation system; condensed water; temperature; environmental bacteria; microbial count; Papallacta.

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Introducción

El agua es un líquido vital fundamental, necesario para el desarrollo social y económico de las poblaciones humanas. Sin embargo, pese a que el agua es un recurso renovable, cuenta con patrones cambiantes de acuerdo con el espacio y tiempo, transformándolo en un elemento de disponibilidad variable con gran abundancia en ciertas zonas, y otras donde se evidencia escasez hídrica (FAO, 2013).

El uso de agua se ha incrementado 1% anualmente desde los años 80 producto del aumento de la población, el desarrollo socioeconómico, la urbanización y el cambio en los modelos de consumo (ONU/WWAP, 2019). Por otro lado, el cambio climático y la contaminación antropogénica han acentuado los problemas relacionados con el agua evidenciando la reducción de las fuentes de agua superficiales y subterráneas.

Recursos hídricos en Ecuador

Ecuador es un país de abundantes recursos hídricos con un promedio de 432 kilómetros cúbicos de agua al año en su territorio dado que cuenta con 31 grandes sistemas hídricos siendo 24 vertientes al Océano Pacífico, con una superficie de 124 644 km² y 7 a la vertiente del Amazonas con 131 726 km² (FAO/AQUASTAT, 2015). Asimismo, este sistema hídrico se divide en 79 cuencas hidrográficas menores, 72 correspondientes a la vertiente del Pacífico y 7 al Amazonas (FAO/AQUASTAT, 2015). Sin embargo, en Ecuador, estos recursos hidrológicos no se encuentran bien distribuidos en tiempo ni espacio. Además, desde 1991 la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL, 1991) ha evidenciado la desaparición de fuentes hídricas como pantanos, lagunas y otros caudales como producto de las alteraciones en las precipitaciones y el cambio climático.

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

El balance hídrico del país es positivo, pero aún se pueden encontrar áreas de déficit hídrico en la Costa y la Sierra. En la región litoral, zonas al sur de Muisne, en Manta, Rocafuerte y en la Península de Santa Elena. Mientras, en la región interandina, se incluye el Valle del Río Chota, zonas de Pomasqui, Perucho, zonas de Latacunga, Ambato, Riobamba, Guamote, Alausí, Zapotillo, Cruzpamba, Larama y Sabanilla (CEPAL, 1991). Además, existen áreas con sequía acentuada con precipitaciones menores a 100 milímetros en Loja, Manabí y el Oro.

La necesidad de agua para uso y consumo humano ha llevado a buscar métodos alternativos como la desalinización del agua marina, reutilización de aguas residuales, recolección de humedad atmosférica mediante colecta de agua de niebla, entre otras tecnologías (FAO, 2013).

Ciclo Hidrológico

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es una serie de procesos que permiten el movimiento del agua de manera continua y simultánea entre la atmósfera y la superficie terrestre (Pereira Guerra, 2019). El ciclo del agua incluye procesos como evaporación, transpiración, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía, flujo, congelación y fusión que facilitan el cambio físico del agua entre estado sólido, líquido y gaseoso (FAO, 2013).

La evaporación consiste en el cambio físico de estado del agua de líquido a gaseoso dando paso a la formación de nubes. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las nubes son un agregado de gotitas de nubes o cristales de hielo, o una combinación de ambos, suspendidos en el aire (OMM, 1993). La formación de las nubes se produce por la elevación de la masa de aire húmedo a la atmósfera en donde se enfría con el aumento de altitud y elevada humedad relativa (Whale, 2018, Xu et al, 2017).

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Las nubes se clasifican en distintos géneros según la altura de su nubosa, los cuales se encuentran en un rango de altitudes diferente de acuerdo a distancia vertical desde la superficie terrestre, divididas en tres "pisos": alto, medio y bajo (OMM, 1993). La altura aproximada de los límites entre pisos se describe en la tabla 1.

Tabla 1

Composición de medio minimal para aislar bacterias quimioheterótrofas

Pisos	Regiones polares	Regiones templadas	Regiones tropicales
Alto	3-8 km	5-13 km	6-18 km
Medio	2-4 km	2-7 km	2-8 km
Bajo	Desde la superficie terrestre hasta 2 km	Desde la superficie terrestre hasta 2 km	Desde la superficie terrestre hasta 2 km

* *Obtenido de: OMM, 1993.*

La clasificación de las nubes a nivel alto adopta el prefijo cirrus– que indica su posición elevada; mientras en el piso medio se utiliza el prefijo alto– que denota nubes con bases nubosas en la tropósfera (Pereira Guerra, 2019). En las nubes a nivel bajo se incluye la niebla. La niebla es un tipo de nube denominada Stratus presente entre la superficie de la tierra a 2 km de altitud pues es una suspensión en el aire de gotas de agua (OMM, 1993).

La precipitación consiste en la caída a través de la atmósfera de hidrometeoros o partículas de agua en forma líquida o sólida hasta la superficie terrestre (OMM, 1993). La lluvia es un tipo de precipitación de gotas de agua líquida que caen de una nube (Pereira Guerra, 2019). La formación de precipitación en las nubes se acelera en gran medida por la aglomeración de las gotas de las nubes que chocan y se fusionan para crear gotas más grandes, desde 0,1 mm o unos pocos milímetros más (Möhler et al., 2007).

Partículas en las nubes

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

En la atmósfera es posible encontrar diversos tipos de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire emitidas a partir de fuentes naturales o antropogénicas (Whale, 2018). Las partículas atmosféricas incluyen polvo (Hazra, 2013), sal marina (Moore et al., 2011), carbono negro (Sun y Ariya, 2006; Chatterjee et al., 2020) y partículas biológicas como bacterias (Delort et al., 2010; Péguilhan et al., 2023), hongos (Xue et al., 2022) y fitoplancton (Thornton et al., 2018); además, se encuentran bioaerosoles como polen (Pummer et al., 2012; O'Sullivan et al., 2015) o ceras vegetales. Estas partículas atmosféricas ayudan a la formación de condensación de nubes (CCN – núcleos de condensación de nubes), y a la formación de hielo (IN – núcleos de hielo) (Möhler et al., 2007).

Los microorganismos aerotransportados son abundantes en la atmósfera pues en promedio circula una concentración de $1 \times 10^5 \text{ células}/\text{m}^3$ de aire (Burrows et al., 2009). Asimismo, algunos de estos microorganismos atmosféricos cuentan con el potencial de participar en numerosos procesos fisicoquímicos atmosféricos incluyendo la formación de gotas de nubes (Joly et al., 2015).

Núcleos de condensación (CCN)

Los núcleos de condensación o CCN por sus siglas en inglés de Cloud Condensation Nuclei son un subconjunto de partículas de aerosoles atmosféricos capaces de formar gotas de nubes al influir en la microestructura de las nubes y en el desarrollo de las precipitaciones (Schmale et al., 2017). Los CCN actúan como nucleadores con superficies hidrofílicas en donde las gotas de nubes se unen hasta adoptar el tamaño necesario para generar gotas de agua capaces de precipitar (Whale, 2018). Además, las condiciones de elevada humedad relativa y la disminución de la temperatura en las nubes favorecen la condensación del vapor de agua en

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

la superficie de los CCN hasta generar la formación de gotas de agua (Péguilhan et al., 2023; Xu et al., 2017). Por otro lado, la precipitación puede verse alterada por la acción de los núcleos de condensación puesto que una concentración elevada de CCN puede aumentar la concentración de gotas en las nubes y disminuir el tamaño necesario de las gotas para precipitar (Almeida et al., 2013).

Las partículas atmosféricas pueden actuar como núcleos de condensación. Desde polvos de origen antropogénicos (Hazra, 2013), polvos minerales (Harrison et al., 2016), hasta material biológico como hongos (Xue et al., 2022), microalgas (Tesson & Šantl-Temkiv, 2018) o polen (Pummer et al., 2012; Duan et al., 2023). En el caso de las bacterias, debido a su gran tamaño de aproximadamente 1 μm o más, son consideradas excelentes CCN (Péguilhan et al., 2023).

Investigaciones en latinoamérica

El interés por los núcleos de condensación (CCN) y núcleos de hielo (IN) y su influencia en la formación de nubes se ha visto en todo el mundo desde China (Che et al., 2017; Xue et al., 2022), India (Hazra, 2013; Gautam et al., 2021), Francia (Amato et al., 2007; Amato et al., 2017; Vařtilingom et al., 2012), llegando a Latinoamérica.

En Brasil, Almeida y colaboradores (2013; 2023) han presentado diversos estudios sobre la concentración de CCN en diferentes regiones brasileñas mediante el uso de cámaras de flujo continuo de gradiente térmico con una sola columna. En México, Baumgardner y col. (2004) presentaron una investigación relacionada con la formación de CCN en Ciudad de México, mientras que Knopf y col. (2010), y Ladino y col. (2018) realizaron un estudio

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

referente a IN en zonas contaminadas de Ciudad de México y en las costas tropicales del país, respectivamente.

En Ecuador no existen estudios que reporten la caracterización de núcleos de condensación (CCN) ni núcleos de hielo (IN) hasta el trabajo de titulación realizado por Pereira Guerra (2019) para el título Químico en la Universidad Yachay Tech donde se analiza la concentración y composición de partículas IN en agua lluvia en Quito, Ciudad de México y Altzomoni (México). En este estudio se compara la contribución de aerosoles urbanos de Quito y Ciudad de México, y partículas sin influencia antropogénica de Altzomoni en la concentración y composición de los núcleos de hielo determinando que las zonas rurales presentan IN con mayor eficiencia de activación. Esta investigación brinda la posibilidad de extender conocimientos de CCN e IN dentro del país.

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, este estudio pretende determinar si un sistema de condensación con bacterias ambientales aisladas de Papallacta permite obtener mayor cantidad de agua condensada a partir de aire en comparación con un control sin bacterias, por lo cual, se aislaron bacterias procedentes de neblina en Papallacta, se estableció un prototipo de condensador con las bacterias aisladas y se cuantificó el volumen de agua condensada producida.

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Materiales y Métodos

Sitio de Estudio

Carretera de Ecuador E20 (vía Quito-Papallacta) a 55,8 km de Quito, a la altura de la Virgen del Páramo de Papallacta, entre las provincias de Pichincha y Napo (Quito-Papallacta; 3940.1496 msnm, 0°20'42.60588"S, 78°11'51.69012"O; Ecuador).

Recolección de muestras

Se recogieron muestras de nubes y aerosoles en la vía Quito-Papallacta, a la altura de la Virgen del Páramo de Papallacta entre el 4 de noviembre de 2022 al 11 de noviembre de 2022 mediante trampas caseras con algodón (Anexo 1) dejado por una semana en el sitio de estudio siguiendo el principio de Schröder & Voye-Dusche (1850) con algodón para capturar bacterias.

A la semana se recogió la muestra y se transportó en fundas con cierre hermético. al laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad SEK en donde se colocaron las muestras en refrigeración a 4°C.

Preparación de medio de cultivo

En la tabla 2 se muestra la composición del medio de cultivo para el aislamiento de bacterias a partir de algodón. Se prepararon 100 mL de medio para cada tratamiento 1 (agua ambiente a ~21°C como refrigerante) y tratamiento 2 (agua fría a ~6°C como refrigerante) en matraces de 250 mL, con sus respectivas réplicas. Tomando en cuenta que la cantidad de reactivos como $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, y $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ son muy bajas, se preparó una

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

solución stock de donde se extrajo 1 mL para cada medio de cultivo. Se procedió a autoclavar el medio y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Tabla 2

Composición de medio minimal para aislar bacterias quimioheterótrofas

Compuesto	Concentración (g/L)
Sacarosa	10
K ₂ HPO ₄	2,5
KH ₂ PO ₄	2,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	1
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,2
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,01
MnSO ₄ .H ₂ O	0,007
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,02

* pH de 7.0 antes de autoclavar el medio

Primero, cada muestra de algodón se incubó a 30°C en el medio de cultivo líquido a 150 rpm por 24 horas hasta evidenciar la turbidez del medio. Posteriormente, se realizó nuevamente un medio de cultivo líquido de misma composición (Tabla 2) y se transfirió 1 mL del primer medio y se incubó nuevamente a 30°C y 150 rpm por 24 horas.

Tinción bacteriana

Con la ayuda de un mechero se tomaron 10 µL del medio de cultivo líquido con una micropipeta y se fijó la muestra con la ayuda de fuego. A continuación, se procedió conforme a la técnica de coloración de Gram, colocando unas cuantas gotas de cristal violeta sobre la

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

muestra, se dejó actuar un minuto, una vez terminado ese proceso se lavó y se añadió un par de gotas de Lugol, se esperó un minuto y se descartó el exceso. El siguiente paso fue decolorar durante 20 segundos con una mezcla de etanol: acetona, se lavó con agua y se añadió safranina durante un minuto, se enjuagó con agua y se observó en el microscopio con objetivos de 40x y 100x, para este último se requirió el uso de aceite de inmersión.

Conteo bacteriano

En el caso del medio de cultivo líquido se realizó una dilución 1:100 para facilitar el conteo de las células bacterianas.

La observación se efectuó en cinco de los veinticinco cuadrados medianos del cuadrante grande central de la cámara de Neubauer, tomando 10 μL de caldo de cultivo para llenar un compartimiento de la cámara y se procedió a contar el número de células bacterianas.

A continuación, se calculó la concentración celular en el caldo de cultivo y control utilizados en el sistema de condensación mediante la siguiente ecuación:

$$\#bac/mL = \frac{\textit{Promedio}}{16 \textit{ cuadros}} \times \frac{400 \textit{ cuadros}}{0,1 \textit{ mm}^3} \times \frac{1000\textit{mm}^3}{1 \textit{ mL}} \times \textit{FD}$$

donde FD es el factor de dilución, y Promedio es el número de células bacterianas halladas en los cinco cuadrantes medianos de la cámara de Neubauer y dividido en 5.

Al finalizar la etapa siguiente del sistema de condensación, se repitió el proceso de conteo bacteriano con el agua resultante de los tratamientos (T1, T2) y controles (C1, C2).

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

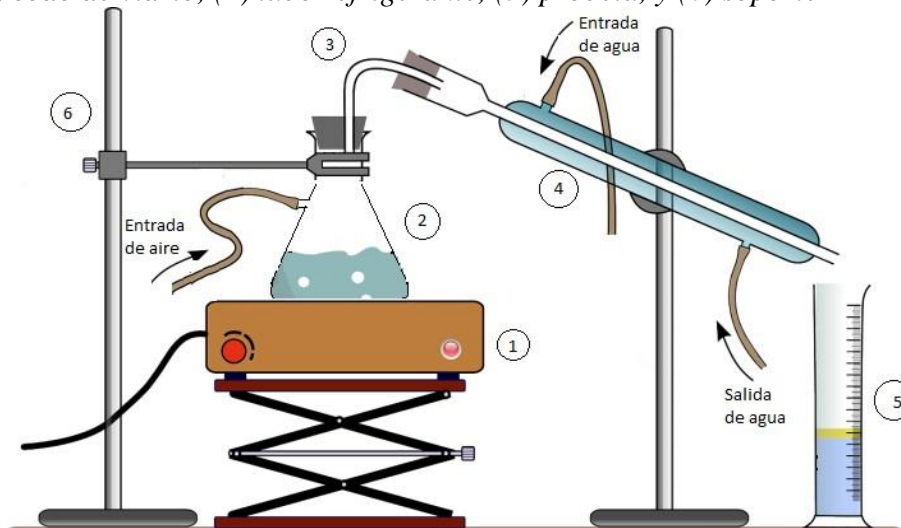
Sistema de condensación

La influencia de la población microbiana en la condensación se evaluó mediante tratamientos (T1, T2) con el uso de caldo de cultivo con bacterias y controles (C1, C2) en los cuales no se aplican microorganismos en el sistema de condensación. Como se indica en la figura 1 se implementó tubos refrigerantes donde la temperatura de la entrada de agua al condensador determina las variables a evaluar de los tratamientos y controles pues el agua actúa como refrigerante a temperatura de 21°C para T1 y C1, y a temperatura de 6°C para T2 y C2. Además, se realizaron dos réplicas para cada tratamiento y control.

Utilizando un matraz Kitasato de 250 mL de capacidad y conectado al tubo refrigerante se añadió 100 mL del caldo de cultivo bacteriano y se mantuvo a 30°C y 150 rpm mediante planchas de agitación y calentamiento por 24 horas. Conectado al orificio del Kitasato se enlazó un flujo de aire continuo de 2 L/min. La entrada de agua al tubo refrigerante tuvo un flujo de agua de 200 L/hora (Anexo 2).

Figura 1

Diagrama del sistema de condensación donde: (1) plancha de agitación y calentamiento, (2) Kitasato, (3) codo de vidrio, (4) tubo refrigerante, (5) probeta, y (6) soporte



OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a análisis a través de estadística descriptiva usando gráficas de barras, en donde los promedios del volumen de agua condensada de las dos réplicas de cada tratamiento y control se graficaron, así como sus respectivas desviaciones estándar.

Resultados

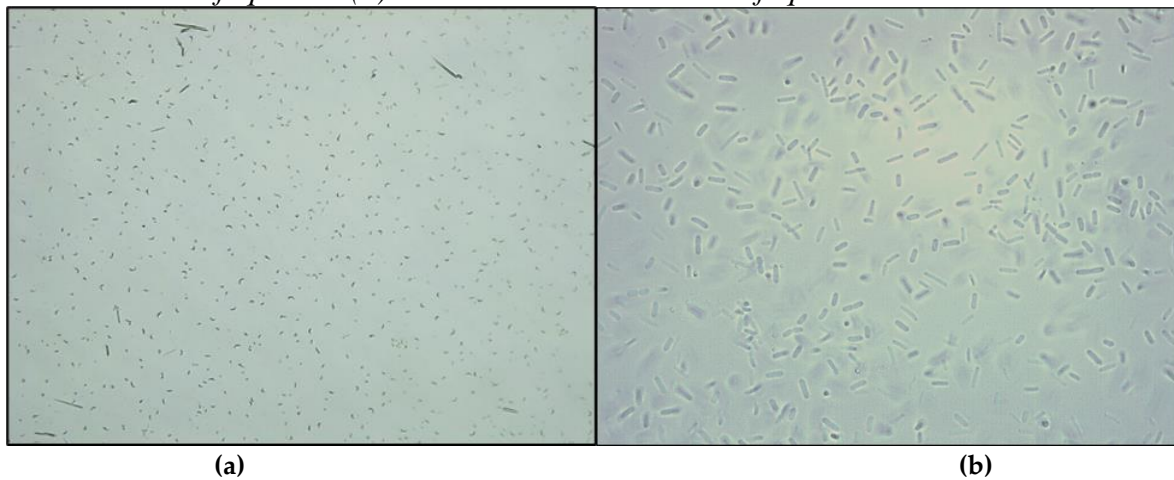
Identificación de bacterias ambientales

Identificación inicial

En el muestreo realizado durante el 4 de noviembre de 2022 al 11 de noviembre de 2022, se registraron temperaturas oscilantes aproximadas de 20°C durante el día y 5°C en la noche (Anexo 3), además de gran cantidad de neblina en el sitio de muestreo, lo cual facilitó la recolección de muestras atmosféricas donde se evidenció la presencia de microorganismos (Figura 2).

Figura 2

Identificación de bacterias ambientales del primer cultivo con algodón; (a) Bacterias ambientales en enfoque 40x (b) Bacterias ambientales en enfoque 100x.



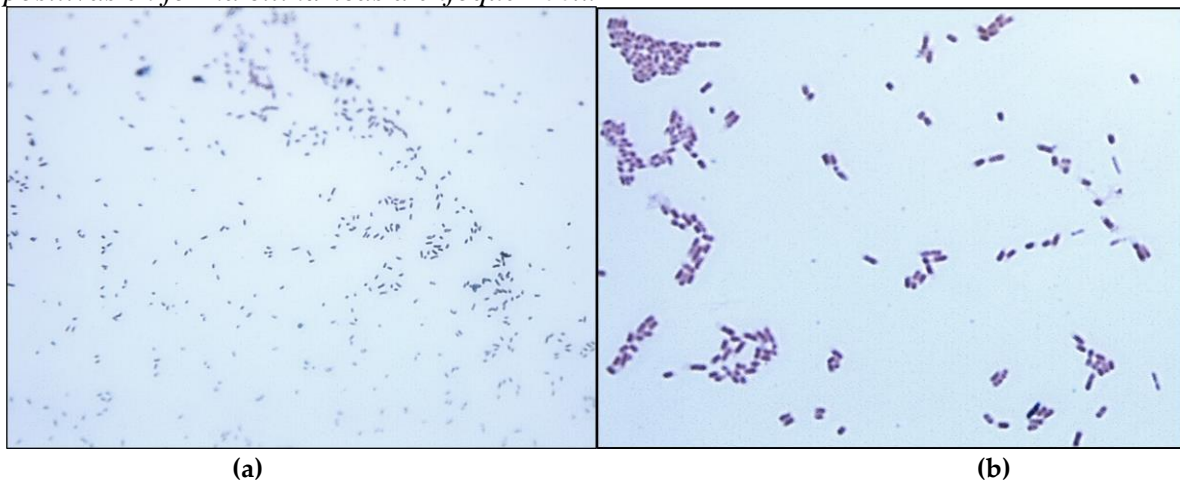
OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Tinción Gram

Una vez realizado el proceso de tinción Gram se pudo apreciar que son bacterias Gram positivas (Figura 3a) por la tonalidad morada que tomaron las estructuras bacterianas. Además, la morfología bacteriana en forma cilíndrica indica que son bacilos (Figura 3b).

Figura 3

Tinción Gram de bacterias ambientales; (a) Gram positivas a enfoque 40x; (b) Bacterias Gram positivas en forma cilíndricas a enfoque 100x.



Sistemas de condensación

Conteo bacteriano

La concentración bacteriana de los diferentes tratamientos y controles acorde a la variación de temperatura fría (aprox. 6°C) y ambiente (aprox. 21°C) se evaluó antes de correr los sistemas de condensación y utilizando el agua resultante para determinar la variación de células bacterianas en todo el proceso. Todos los cálculos realizados referentes a la cantidad de microorganismos en cámara de Neubauer se ilustran en la tabla 3 donde se observa que los tratamientos T1 y T2 superan la cantidad de células bacterianas que los controles C1 y C2 antes de ser conectados a los sistemas de condensación. De igual manera, el agua resultante muestra

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

mayor concentración celular en los tratamientos que en los controles. Sin embargo, el número de bacterias en el agua condensada de T1 y T2 es menor que en el medio de cultivo. Caso contrario sucede en C2 donde el agua resultante de la condensación es mayor al agua autoclavada como medio de cultivo.

Tabla 3

Concentración celular en el caldo de cultivo y el agua resultante de la condensación de Tratamientos 1 y 2 junto a sus respectivos controles

	C1 (bacterias/mL)	C2 (bacterias/mL)	T1 (bacterias/mL)	T2 (bacterias/mL)
Caldo de cultivo	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$2,15 \times 10^8$	$2,15 \times 10^8$
Agua condensada	-	$1,15 \times 10^6$	$4,3 \times 10^6$	$4,1 \times 10^6$

* El caldo de cultivo correspondiente a los controles corresponde a agua autoclavada

Análisis de eficiencia de condensación del sistema experimental

En la tabla 4 se registró el volumen de agua obtenida en los tratamientos y controles a temperaturas aproximadas de 6°C (T2, C2) y 21°C (T1, C1) a lo largo de 24 horas. Siendo que todos los tratamientos y controles inician a un volumen de agua de 0 mL se evidenció un aumento significativo del volumen de líquido condensado en T2 y C2 (Figura 4) a temperaturas frías, mientras que T1 y C1 no muestran mayor producción de agua pues en su mayoría se observaron valores cercanos a cero (Figura 5), especialmente por parte del control con una producción nula de agua. Además, el volumen en cada tratamiento, ya sea a ~6°C o ~21°C, supera en gran medida al control (Figura 4b y Figura 5b).

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Tabla 4

Volumen de agua resultante de la condensación de tratamiento 1 (~21°C) y tratamiento 2 (~6°C) junto a sus respectivos controles a lo largo de 24 horas

	0h		2h		4h		6h		20h		22h		24h	
	T (°C)	V (mL)	T (°C)	V (mL)	T (°C)	V (mL)	T (°C)	V (mL)	T (°C)	V (mL)	T (°C)	V (mL)	T (°C)	V (mL)
C1	18,1	0	19,3	0	20,4	0	22,6	0	23,0	0	23,3	0	23,6	0
T1	18,3	0	19,9	0	20,6	0	21,1	0,03	23,4	0,1	23,1	0,2	23,4	0,38
C2	7,7	0	7,2	0,13	5,3	0,7	5,5	1,25	6,4	2,65	5,4	3,25	7,9	5,25
T2	7,1	0	4,9	0,6	4,2	2,8	4,3	4,55	8,8	11	7,9	13,8	7,9	17,5

Figura 4

Volumen de líquido resultante de la condensación con agua como refrigerante a temperatura de ~21°C a lo largo de 24 horas; (a) Gráfico de áreas del volumen de agua resultante tratamiento 1 (azul) y control 1 (rojo) frente a las horas transcurridas; (b) Gráfico de barras del tratamiento 1 (azul) y control 1 (rojo) junto a sus respectivas barras de error correspondientes a la desviación estándar en cada punto

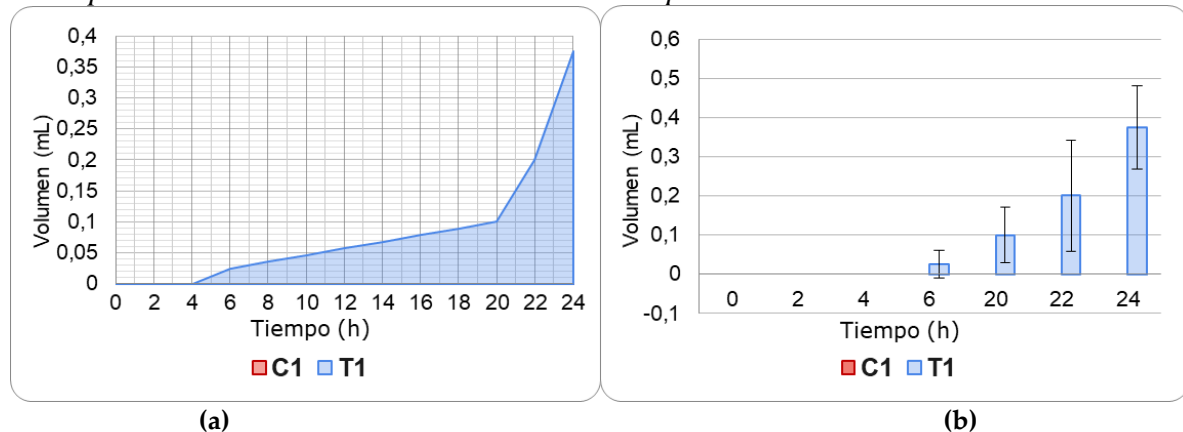
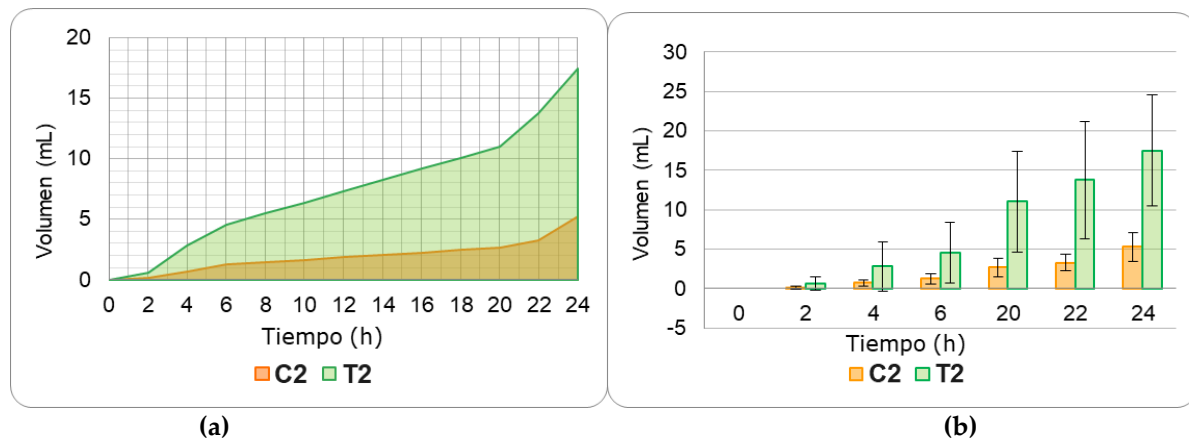


Figura 5

Volumen de líquido resultante de la condensación con agua como refrigerante a temperatura de ~6°C en el transcurso de 24 horas; (a) Gráfico de áreas del tratamiento 2 (verde) y control 2 (anaranjado); (b) Gráfico de barras del tratamiento 2 (verde) y control 2 (anaranjado) junto a sus respectivas barras de error correspondientes a la desviación estándar en cada punto

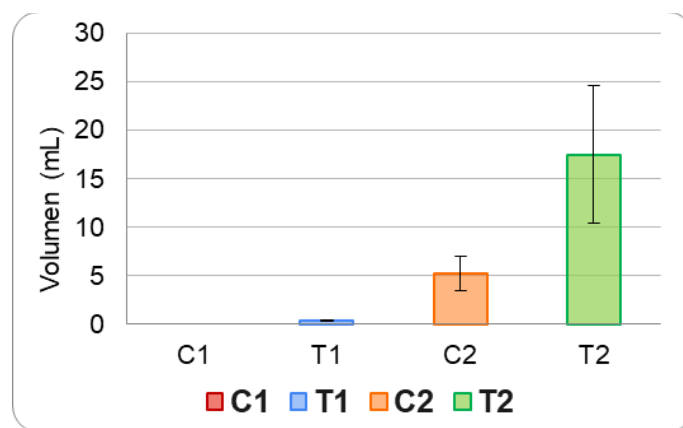
OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA



El volumen final de 0,38 y 17,5 (tabla 4) de los tratamientos T1 y T2, respectivamente; junto a los valores de 0 de C1 y 5,25 de C2 se compararon en la figura 6 demostrando diferencia entre cada resultado.

Figura 6

Volumen final a 24 horas de líquido resultante de la condensación con agua como refrigerante a temperatura de $\sim 21^{\circ}\text{C}$ en C1 (rojo) y T1 (azul), y temperatura de $\sim 6^{\circ}\text{C}$ en C2 (anaranjado) y T2 (verde)



Discusión

Identificación de bacterias ambientales

Identificación inicial

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Papallacta es una parroquia del cantón Quijos, provincia de Napo, ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes al nororiente de la región Amazónica (MAATE, 2021). Esta parroquia se localiza a 67 kilómetros de la ciudad de Quito recorriendo la vía Pifo - Papallacta (E20). El sitio de muestreo se encuentra en la carretera E20 donde se evidencia las características climatológicas de Papallacta con temperaturas medias entre 8,4 y 22°C, y humedad relativa superior a 80% (MAATE, 2021), propio del clima de páramo-pluvial por su condición fría y húmeda, con precipitaciones anuales de 800 a 2000 mm lo que genera neblina constante en la zona (Urcuango Morales, 2013; Sinde, 2018). Tomando como referencia el hallazgo de Amato y col. (2007) de células bacterianas cultivables en agua de niebla, se aislaron bacterias ambientales de Papallacta y se identificaron por microscopía convencional (Figura 2). Considerando las condiciones climáticas de las fechas de muestreo (Tabla A.1.) y los estudios realizados de bacterias como núcleos de condensación (Sun & Ariya, 2006; Bigg et al., 2015; Che et al., 2017), se utilizaron dichas bacterias para la obtención de agua condensada. Sin embargo, se debe tener presente que la metodología del cultivo afecta a la obtención de bacterias, además, pese a que el conocimiento de los microorganismos en las nubes se basa principalmente en cultivos, solo un promedio del 1% son cultivables en medios no selectivos (Delort et al., 2010).

Tinción Gram

La tinción Gram es una técnica clásica para identificación bacteriana. La figura 3 evidencia la presencia de bacterias Gram positivas en el cultivo de microorganismos ambientales aislados de Papallacta debido a la tonalidad morada que toma la muestra. De manera similar, investigaciones como la realizada por Xu y col. (2017) destaca la presencia de bacterias Gram positivas con géneros como Firmicutes, Actinobacteria y Cyanobacteria.

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Además, Vivas- Saltos y col. (2021) destacan la presencia de bacterias Gram positivas en el aire una vez realizado un cultivo gracias a la mayor sensibilidad de las bacterias Gram negativas a la temperatura y decantación. Por otro lado, tomando en cuenta la temperatura de 30°C del medio de cultivo a la cual fueron sometidos los microorganismos, los resultados van en concordancia con el estudio de Amato y col. (2007) donde se evaluó la presencia de bacterias en las nubes a temperaturas de 5, 17 y 27°C hallando solamente con filiación Gram positivas a 27°C. Sin embargo, este mismo estudio destaca que existe mayor concentración bacteriana a temperaturas más bajas de 5°C, aunque sea superior la predominancia de bacterias Gram negativas. Asimismo, otros autores como Stephanie & Waturangi (2011) o Péguilhan y col. (2023) destacan la elevada presencia de bacterias Gram negativas en nubes en comparación a bacterias Gram positivas.

Sistemas de condensación

Conteo bacteriano

De la tabla 3 se encontró que la presencia bacteriana en el caldo de cultivo es mayor que la del agua condensada en cada tratamiento, sin importar la temperatura ambiental o fría del refrigerante. Según diversos autores, la concentración microbiana varía mucho de acuerdo al tipo de muestra y zona de muestreo. Tomando en cuenta que Papallacta es una zona rural de clima frío-húmedo, las bacterias en la zona pueden estar acostumbradas a temperaturas bajas, llegando a ser de tipo psicrófilo. Che y col. (2017) señalan que la activación como núcleos de condensación (CCN) es más sencilla en zonas rurales poco contaminadas que en zonas urbanas, demostrando que Papallacta es un área precisa de muestreo. En cambio, Delort y col. (2010) agruparon la concentración de bacterias en diferentes tipos de agua atmosférica donde se

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

destaca la concentración en nubes desde 103 hasta 108 células bacterianas/mL y en lluvia de 103 a 105 células/mL. El agua resultante de la condensación cumple con una concentración bacteriana típica de agua lluvia. Por otro lado, el medio de cultivo cuenta con nutrientes adecuados y temperatura necesaria para el crecimiento microbiano, por lo cual, el número de células debe ser mayor. Además, la elevada concentración de aerosoles microbiológicos incrementa la cantidad de bacterias que pueden actuar como núcleos de condensación (CCN) para la obtención de agua.

Por otro lado, la tabla 3 muestra el número de células bacterianas en el control, donde se halló una mayor concentración microbiana en el agua condensada que en medio de cultivo del control. Teniendo en consideración que el caldo de cultivo del control consistía en agua autoclavada, debió hallarse un valor nulo de bacterias, pero se contabilizaron microorganismos en la cámara de Neubauer. Una posible explicación a esto presentan Acosta Díaz & Leguizamo González (2020) quienes mencionan que la cámara de Neubauer cuantifica microorganismos viables y no viables haciendo posible que lo observado en los controles corresponda a bacterias no viables residuales en el agua autoclavada. Por otro lado, Garrido Abate (2015) explica que la esterilización del autoclave puede verse afectada por la eliminación incompleta del aire de la cámara del autoclave disminuyendo la temperatura interior y afectando la eliminación de microorganismos. De cualquier manera, las bacterias contabilizadas del medio control pueden intervenir en los sistemas de condensación. Por ejemplo, Bigg y col. (2015) indican que la presencia de agua, en nuestro caso del medio control, puede aumentar la concentración de aerosoles microbiológicos, los cuales actuando como CCN pueden iniciar o no lluvias posteriores.

Análisis de eficiencia de condensación del sistema experimental

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

La tabla 4 detalla el volumen de agua condensada en los Tratamientos (T1, T2) y controles (C1, C2) hallando una producción significativamente mayor en C2 y T2 correspondientes a $\sim 6^{\circ}\text{C}$ como temperatura del refrigerante desde que se inicia el sistema de condensación. El tratamiento 2 con refrigerante frío señala una producción de agua mayor que el control 2 a causa de las bacterias en el medio de cultivo pues se ha evidenciado que éstas pueden actuar como excelentes núcleos de condensación (Delort et al., 2010; Péguilhan et al., 2023). Por otro lado, la temperatura del refrigerante representa una variable decisiva pues determina la activación de las bacterias como núcleos de condensación (CCN) o núcleos de hielo (IN) dando paso a la formación de gotitas de aguas. Dentro de nuestro estudio se observó que la temperatura más cercana a cero ($\sim 6^{\circ}\text{C}$) corresponde a mayor producción de agua pues se ha visto que a valores próximos a 0°C existe mayor presencia de bacterias que actúan como CCN o IN (Amato et al., 2007; Möhler et al., 2007; Pereira Guerra, 2019)

La producción de agua a la temperatura $\sim 21^{\circ}\text{C}$ muestra valores cercanos a cero en el T1 y nula producción de agua en el control (Figura 5). Al igual que sucede en T2, la presencia bacteriana del tratamiento 1 favorece la producción de agua, no obstante, la temperatura de $\sim 21^{\circ}\text{C}$ es demasiado alta para activar a las bacterias como núcleos de condensación (CCN) por lo cual no es considerada adecuada para la condensación de agua.

La operación del sistema de condensación determinó que las bacterias aisladas fueron eficientes en la producción de agua en ambas temperaturas ($\sim 6^{\circ}\text{C}$, $\sim 21^{\circ}\text{C}$) mostrando valores diferentes a cero. Entre ambos tratamientos, la diferencia de temperatura denota disparidad en volumen llegando a una producción de agua por parte de T2 tres veces mayor que T1 (Figura 6) señalando que la temperatura es el diferenciador fundamental en la condensación pues valores cercanos a 0°C siempre favorecen la formación de nubes y gotas de agua que precipitan

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

(OMM, 1993). Sin embargo, es necesario realizar más estudios para llegar a un modelado más efectivo que simule de mejor manera el ciclo hidrológico hasta obtener agua a partir de bacterias.

Conclusiones

Las bacterias aéreas de la zona de Papallacta pudieron ser aisladas en laboratorio y utilizadas en un prototipo de sistema de condensación con el propósito de obtener agua a partir de aire. Los tratamientos correspondientes al uso de bacterias produjeron mayor cantidad de agua condensada en comparación a sus controles sin bacterias, cumpliendo la hipótesis planteada. Sin embargo, pese a que la acción bacteriana no es descartable, la temperatura representó una variable con mayor relevancia puesto que a temperatura de $\sim 6^{\circ}\text{C}$ el volumen de agua obtenida fue superior.

Los resultados de este estudio pueden ser considerados una base para la realización de posteriores investigaciones relacionadas con la aplicación de bacterias como núcleos de condensación para la obtención de agua y la simulación del ciclo hídrico con material microbiológico.

Recomendaciones

Para posteriores investigaciones enfocadas en el prototipo de sistemas de condensación con bacterias ambientales se recomienda el manejo correcto de las muestras pues se ha evidenciado que el almacenamiento prolongado puede inhabilitar la capacidad bacteriana como núcleos de condensación.

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Por otro lado, la temperatura aplicada en el medio de cultivo marca la diferencia en las bacterias utilizadas en el condensador, por lo cual se sugiere analizar la influencia de la temperatura del medio en la especie y concentración bacteriana y su efecto en la obtención de agua condensada.

Referencias Bibliográficas

- Acosta Díaz, A. & Leguizamo González, E. (2020). Métodos y técnicas de cuantificación microbiana empleados en la industria de alimentos, farmacéutica, agrícola y ambiental. Revisión sistemática de la literatura [Tesis de Grado]. Pontífica Universidad Javeriana.
- Accuweather. (15 junio 2023). Tiempo mensual en Papallacta, Ecuador. Accuweather. <https://www.accuweather.com/es/ec/papallacta/129451/november-weather/129451?year=2022>
- Almeida, G. (2023). The Role Played by the Bulk Hygroscopicity on the Prediction of the Cloud Condensation Nuclei Concentration Inside the Urban Aerosol Plume in Manaus, Brazil: From Measurements to Modeled Results. *Atmospheric Environment*, 295(119517). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119517>
- Almeida, G., Junior, J., Couto, V., & Borrmann, S. (2013). The influence of local circulation on the concentration of cloud condensation nuclei (CCN) in the Brazilian Northeast semi-arid region (NEB). *Ciência e Natura*, 156-158. doi: 10.5902/2179-460X11588
- Amato, P., Joly, M., Besaury, L., Oudart, A., Taib, N., Moné, A. I., ... Debroyas, D. (2017). Active microorganisms thrive among extremely diverse communities in cloud water. *PLOS ONE*, 12(8), e0182869. doi:10.1371/journal.pone.0182869

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Amato, P., Parazols, M., Sancelme, M., Laj, P., Mailhot, G., & Delort, A.-M. (2007).

Microorganisms isolated from the water phase of tropospheric clouds at the Puy de Dôme: major groups and growth abilities at low temperatures. *FEMS Microbiology Ecology*, 59(2), 242–254. doi:10.1111/j.1574-6941.2006.00199.x

Bigg, E. K., Soubeyrand, S., & Morris, C. E. (2015). Persistent after-effects of heavy rain on

concentrations of ice nuclei and rainfall suggest a biological cause. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(5), 2313–2326. doi:10.5194/acp-15-2313-2015

Burrows, S. M., Elbert, W., Lawrence, M. G., & Pöschl, U. (2009). Bacteria in the global

atmosphere – Part 1: Review and synthesis of literature data for different ecosystems. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(23), 9263–9280. doi:10.5194/acp-9-9263-2009

Chatterjee, A., Dutta, M., Ghosh, A., Ghosh, S. K., & Roy, A. (2020). Relative role of black

carbon and sea-salt aerosols as cloud condensation nuclei over a high altitude urban atmosphere in eastern Himalaya. *Science of The Total Environment*, 140468. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140468

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe). (1991). América Latina y el

Caribe: El manejo de la escasez del agua. Santiago de Chile-Chile: Publicaciones de las Naciones Unidas.

Che, H. C., Zhang, X. Y., Zhang, L., Wang, Y. Q., Zhang, Y. M., Shen, X. J., ... Zhong, J. T.

(2017). Prediction of size-resolved number concentration of cloud condensation nuclei and long-term measurements of their activation characteristics. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/s41598-017-05998-3

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Delort, A., Vaïtilingom, M., Amato, P., Sancelme, M., Parazols, M., Mailhot, G., . . .

Deguillaume, L. (2010). A short overview of the microbial population in clouds: Potential roles in atmospheric chemistry and nucleation processes. *Atmospheric Research*, 98(2-4), 249-260.

Duan, P., Hu, W., Wu, Z., Bi, K., Zhu, J., & Fu, P. (2023). Ice nucleation activity of airborne pollen: A short review of results from laboratory experiments. *Atmospheric Research*, 285(106659). doi:10.1016/J.ATMOSRES.2023.106659

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). *Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma-Italia: FAO.

FAO/AQUASTAT (Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura). (2015). *Perfil de país - Ecuador*. Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Garrido Abate, N. (2015). *Manual básico del uso de autoclave: Instructivo técnico*. Arica-Chile: Universidad de Tarapacá

Gautam, A., Tripathi, S., Joshi, A., Mandariya., A., Singh, K., Mishra, G., Kumar, S., & Ramola, R. (2021). Corrigendum to “First surface measurement of variation of Cloud Condensation Nuclei (CCN) concentration over the Pristine Himalayan Region of Garhwal, Uttarakhand, India”. *Atmospheric Environment* 118609 (262). doi:10.1016/J.ATMOSENV.2021.118609

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Harrison, A. D., Whale, T. F., Carpenter, M. A., Holden, M. A., Neve, L., & Sullivan, D., ... Murray, B. J. (2016). Not all feldspars are equal: a survey of ice nucleating properties across the feldspar group of minerals. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(17), 10927–10940. doi:10.5194/acp-16-10927-2016

Hazra, A. (2013). Role of mineral dust, soot, and bacteria in cloud and precipitation formation processes over Indian subcontinent using an atmospheric general circulation model. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 98, 74–85. doi:10.1016/j.jastp.2013.02.019

Joly, M., Amato, P., Sancelme, M., Vinatier, V., Abrantes, M., Deguillaume, L., & Delort, A.-M. (2015). Survival of microbial isolates from clouds toward simulated atmospheric stress factors. *Atmospheric Environment*, 117, 92–98. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.07.009

Knopf, D. A., Wang, B., Laskin, A., Moffet, R. C., & Gilles, M. K. (2010). Heterogeneous nucleation of ice on anthropogenic organic particles collected in Mexico City. *Geophysical Research Letters*, 37(11), n/a–n/a. doi:10.1029/2010gl043362

Ladino, L. A., Raga, G. B., Alvarez-Ospina, H., Andino-Enríquez, M. A., Rosas, I., Salinas, E., ... Irish, V. E. (2018). The Importance of Biological Particles to the Ice Nucleating Particle Concentration in a Coastal Tropical Site. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 1–26. doi:10.5194/acp-2018-1215

MAATE (Ministerio de Ambiente, A. (2021). Repotenciación del sistema de agua potable de la parroquia Papallacta, cantón Quijos, provincia de Napo, en base a los estudios

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

definitivos realizados por el proyecto AICCA, como medida de adaptación al cambio climático. Quito-Ecuador.

Möhler, O., DeMott, P. J., Vali, G., & Levin, Z. (2007). Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics. *Biogeosciences*, 4(6), 1059–1071. doi:10.5194/bg-4-1059-2007

Moore, M. J. K., Furutani, H., Roberts, G. C., Moffet, R. C., Gilles, M. K., Palenik, B., & Prather, K. A. (2011). Effect of organic compounds on cloud condensation nuclei (CCN) activity of sea spray aerosol produced by bubble bursting. *Atmospheric Environment*, 45(39), 7462–7469. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.04.034

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (1993). Manual de observación de nubes y otros meteoros (OMM-Nº 407) (Vol. 1). Ginebra-Suiza: Atlas internacional de nubes.

ONU/WWAP (Naciones Unidas/Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos). (2019). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: No dejar a nadie atrás. París-Francia: UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

O'Sullivan, D., Murray, B. J., Ross, J. F., Whale, T. F., Price, H. C., Atkinson, J. D., ... Webb, M. E. (2015). The relevance of nanoscale biological fragments for ice nucleation in clouds. *Scientific Reports*, 5(1). doi:10.1038/srep08082

Péguilhan, R., Rossi, F., Rué, O., Joly, M., & Amato P. (2023). Comparative analysis of bacterial diversity in clouds and aerosols. *Atmospheric Environment*, 119635, 298

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

Pereira Guerra, D. (2019). Concentration and Composition of Ice Nucleating Particles in Rain Water Samples from Quito, Mexico City, and Altzomoni [Trabajo de titulación].

YACHAY UNIVERSITY OF ARTICULO DE REVISTA

Pummer, B. G., Bauer, H., Bernardi, J., Bleicher, S., & Grothe, H. (2012). Suspendable macromolecules are responsible for ice nucleation activity of birch and conifer pollen. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(5), 2541–2550. doi:10.5194/acp-12-2541-2012

Schmale, J., Henning, S., Henzing, B., Keskinen, H., Sellegri, K., Ovadnevaite, J., . . . Pringl. (2017). Collocated observations of cloud condensation nuclei, particle size distributions, and chemical composition. *Scientific Data* 2017 4:1, 1-27.

Schröder JA, Voye-Dusche FCA. (1850). Zur Kenntnis des Baumwollfilters. [Para el conocimiento del filtro de algodón]. *Annalen der Chemie und Pharmacie*, 73(3), 316-328.

Sinde, I. (2018). Climas del Ecuador (Clase magistral). Carrera de Ingeniería en Tecnologías Geoespaciales. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Ecuador.

STEPHANIE, & WATURANGI, D. E. (2011). Distribution of Ice Nucleation-Active (INA) Bacteria from Rain-water and Air. *HAYATI Journal of Biosciences*, 18(3), 108–112. doi:10.4308/hjb.18.3.108

SUN, J., & ARIYA, P. (2006). Atmospheric organic and bio-aerosols as cloud condensation nuclei (CCN): A review. *Atmospheric Environment*, 40(5), 795–820. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.05.052

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

- Tesson, S. V. M., & Šantl-Temkiv, T. (2018). Ice Nucleation Activity and Aeolian Dispersal Success in Airborne and Aquatic Microalgae. *Frontiers in Microbiology*, 9. doi:10.3389/fmicb.2018.02681
- Thornton, D., Brooks, S., Wilbourn, E., Mirrielees, J., Alsante, A., Gold-Bouchot, G., McFadden, K., & Whitesell, A. (2018). Effects of phytoplankton growth on the production of cloud condensation nuclei (CCN) and ice nucleating particles (INP). AGUFM A14B-03.
- Urcuango Morales, A. (2013). Las actividades turísticas desde un enfoque de desarrollo de la comunidad en el año 2009, en la parroquia Papallacta, Cantón Quijos, provincia de Napo [Tesis de Magister]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Vaïtilingom, M., Attard, E., Gaiani, N., Sancelme, M., Deguillaume, L., Flossmann, A. I., ... Delort, A.-M. (2012). Long-term features of cloud microbiology at the puy de Dôme (France). *Atmospheric Environment*, 56, 88–100. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.03.072
- Vivas Saltos, H., Calderón Pincay, J., Delgado Moreira, M., & Abril Saltos, R. (2021). Caracterización microbiológica del aire en el casco urbano de Calceta, Manabí, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 42(3), 47-63. Epub 21 de julio de 2021. Recuperado en 24 de julio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000300047&lng=es&tlng=es.
- Whale, T. F. (2018). Ice Nucleation in Mixed-Phase Clouds. *Mixed-Phase Clouds*, 13–41. doi:10.1016/b978-0-12-810549-8.00002-7

**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

Xu, C., Wei, M., Chen, J., Sui, X., Zhu, C., Li, J., Zheng, L., Sui, G., Li, W., Wang, W., Zhang, Q., & Mellouki, A. (2017). Investigation of diverse bacteria in cloud water at Mt. Tai, China. *Science of The Total Environment*, 580, 258–265. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.12.081

Xue, F., Yang, Y., Zou, S., Zhang, Y., Yue, D., Zhao, Y., & Lai, S. (2022). Characterization of airborne bacteria and fungi at a land-sea transition site in Southern China. *Science of The Total Environment*, (157786) 849. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.157786

OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA

ANEXOS

Anexo 1

Trampa casera de acero para portar algodón para la recolección de muestras en Papallacta



Anexo 2

Sistema de condensación conectado a flujo continuo de aire y agua



**OBTENCIÓN DE AGUA A PARTIR DE AIRE UTILIZANDO BACTERIAS
AMBIENTALES AISLADAS DE LA ZONA DE PAPALLACTA**

Anexo 3

*Temperatura diaria de la zona de muestreo (Quito-Papallacta) en noviembre del 2022
(Obtenido de: Accuweather, 2023)*

	L	M	M	J	V	S	D
Fecha	30	31	1	2	3	4	5
Día	-	-	-	-	-	19°	21°
Noche	-	-	-	-	-	7°	6°
Fecha	6	7	8	9	10	11	12
Día	21°	21°	22°	17°	18°	18°	-
Noche	2°	6	2°	6°	8°	8°	-