

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Cuantificación del agua de niebla colectada en dos áreas  
desérticas: Villa El Salvador y Ventanilla de Lima Metropolitana,  
Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Andres Caceres Hualla  
Luz Roxana Cairampoma Trañez

**Asesor:**

Ing. Orlando Alan Poma Porras

Lima, Abril del 2023

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Ing. Orlando Alan Poma Porras, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Cuantificación del agua de niebla colectada en dos áreas desérticas: Villa El Salvador y Ventanilla de Lima Metropolitana, Perú”** de los autores Andres Caceres Hualla y Luz Roxana Cairampoma Trañez tiene un índice de similitud de 08 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del o los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 17 días del mes de Abril del año 2023.



---

Ing. Orlando Alan Poma Porras

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **11 días** día(s) del mes de **abril** del año 2023 siendo **las 10:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, el secretario: **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas**, y los demás miembros: **Ing. Reymundo Jaulis Palomino y la Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y el asesor, **Ing. Orlando Alan Poma Porras** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Cuantificación del agua de niebla colectada en dos áreas desérticas: Villa el Salvador y Ventanilla de Lima Metropolitana, Perú".

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **LUZ ROXANA CAIRAMPOMA TRAÑEZ**

.....b) **ANDRES CACERES HUALLA**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **LUZ ROXANA CAIRAMPOMA TRAÑEZ** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>17</b>	<b>B+</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Sobresaliente</b>

Candidato (b): ..... **ANDRES CACERES HUALLA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>APROBADO</b>	<b>17</b>	<b>B+</b>	<b>Muy Bueno</b>	<b>Sobresaliente</b>

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Jackson Edgardo  
Pérez Carpio

  
\_\_\_\_\_  
Secretario  
Mg. Joel Hugo  
Fernandez Rojas

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Ing. Orlando Alan  
Poma Porras

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Reymundo Jaulis  
Palomino

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Milda Amparo  
Cruz Huaranga

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Luz

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Andres

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está Dedicado a nuestro hijo Andriu Caceres Cairampoma, quien fue el motivo principal para que se pueda terminar con éxito este proyecto, superar los obstáculos, y seguir adelante, para culminar este primer escalón, es verdad que vienen más desafíos, en tierra tenemos un motivo en común para seguir adelante, y en el cielo esta Dios quien nos guía como una lampara en la oscuridad, para llegar a cumplir todos los sueños que cada uno de nosotros tenemos.*

*Andres Caceres Hualla*

*Luz R. Cairampoma Trañez*

## INDICE

1. Resumen .....	1
2. Abstract .....	2
3. Introducción .....	2
4. Materiales y Métodos .....	4
4.1. Áreas de estudio .....	4
4.2. Diseño e implementación de los colectores de niebla .....	5
4.3. Colección de niebla .....	6
4.4. Condiciones atmosféricas .....	6
4.5. Análisis estadístico .....	6
5. RESULTADOS .....	7
5.1. Monitoreo del agua colectada .....	7
5.2. Análisis de datos meteorológicos .....	10
6. DISCUSIONES .....	12
6.1. Monitoreo del agua colectada .....	12
7. CONCLUSIONES .....	14
8. BIBLIOGRAFIA .....	15
9. ANEXOS .....	18
9.1. Evidencia de Sumisión de Artículo .....	18

## **Cuantificación del agua de niebla colectada en dos áreas desérticas: Villa El Salvador y Ventanilla de Lima Metropolitana, Perú**

### **Quantification of fog water collected in two desert areas: Villa El Salvador and Ventanilla of Lima Metropolitana (Peru)**

Andres Caceres Hualla<sup>1,\*</sup>, Luz R. Cairampoma Trañez<sup>1</sup>, Orlando Poma Porras<sup>3</sup>

[\\*andrescaceres@upeu.edu.pe](mailto:andrescaceres@upeu.edu.pe)

<sup>1</sup>E.P de Ingeniería Ambiental Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Carretera central Km 19.5 Ñaña, Lima, Perú.

#### **1. Resumen**

La escasez de agua dulce es uno de los mayores problemas para lograr el desarrollo sostenible en las ciudades de Lima, Perú. Dado que esta área es desértica y tiene clima tropical y poca precipitación, su población no tiene acceso a agua potable. Así, este trabajo tuvo como objetivo mostrar los resultados de la recolección de agua de niebla obtenidos con el colector de niebla estándar (SFC) y el colector de niebla hexagonal (HFC) en dos ubicaciones de la ciudad de Lima (Perú): Villa El Salvador (VES, 143 m.s.n.m.) y Ventanilla (VEN, 71 m.s.n.m.). Estos colectores de niebla se instalaron en marzo de 2020 y los datos se midieron desde abril de 2020 hasta marzo de 2021. También se midieron variables meteorológicas concomitantes (temperatura, precipitación, humedad, dirección y velocidad del viento). Los resultados indican una recolección promedio de agua de  $4.56 \pm 2.26$  L / año y  $4.95 \pm 2.28$  L / año utilizando el colector SFC en VEN y VES, respectivamente. El colector de HFC mostró un promedio de  $4.70 \pm 2.24$  L / año y  $5.53 \pm 2.88$  L / año para VEN y VES, respectivamente. La mayor recolección de agua varió de 10.5 a 14.1 L / m<sup>2</sup>.día y se encontró en agosto, cuando la temperatura era baja y la humedad relativa alta. El agua alta recolectada en VES puede estar relacionada con su altitud principal. La niebla recolectada en ambas áreas de estudio indica que este elemento es una fuente útil de abastecimiento de agua en zonas desérticas de Lima.

**Palabras clave:** Recolección de niebla, región desértica, agua dulce, variables meteorológicas

## 2. Abstract

Scarcity of fresh water is one of the greatest issues to achieving sustainable development in the cities of Lima, Peru. Since this area is desertic and has tropical climate and little precipitation, their population have not access to potable water. Thus, this work aimed showed the results of fog water collection obtained with the standard fog collector (SFC) and hexagonal fog collector (HFC) at two locations on the Lima city (Peru): Villa El Salvador (VES, 143 m.a.s.l) and Ventanilla (VEN, 71 m.a.s.l). These fog collectors were installed in March of 2020 and data was measured from April 2020 to March 2021. Concomitant meteorological variables (temperature, precipitation, humidity, wind direction and speed) were also measured. The results indicate an average water collection of  $4.56 \pm 2.26$  L/year and  $4.95 \pm 2.28$  L/year using the SFC collector in VEN and VES, respectively. The HFC collector showed an average of  $4.70 \pm 2.24$  L/year and  $5.53 \pm 2.88$  L/year for VEN and VES, respectively. The highest water collection ranged from 10.5 to 14.1 L/m<sup>2</sup>.day and was found in august when the temperature was low and relative humidity high. High water collected in VES may be related to their major altitude. The fog collected in both study areas indicate that this element is a useful source of water supply in desertic areas of Lima.

**Keywords:** Fog harvesting, desertic region, fresh water, meteorological variables

## 3. Introducción

El agua es un recurso natural y esencial para la supervivencia y bienestar humano (Do Nascimento, 2018). Sin embargo, en las últimas décadas el crecimiento poblacional, los impactos negativos del cambio climático, y el uso indiscriminado e irresponsable del agua dulce está haciendo que este recurso se torne vulnerable y se escasee en diversas partes del mundo (Abedin et al., 2019; Gao et al., 2018; Okello et al., 2015). Así, hay una necesidad urgente de buscar y encontrar nuevas fuentes alternativas de agua fresca. La niebla como parte integral de la hidrología presente en áreas costeras y de gran altitud podría ser una alternativa frente a esta necesidad (Abhiram et al., 2015).

La recolección de agua de niebla viene siendo usada e investigada como fuente alternativa por más de 40 años, y es adecuada particularmente sobre áreas montañosas o desérticas donde comunidades viven en zonas remotas (Imteaz et al., 2011). Por ejemplo, registros históricos indican que la niebla fue cosechada para proveer de agua potable a regiones como las islas canarias (Ritter et al., 2015), Saudi Arabia (Al-hassan, 2009), y el Desierto de Atacama (Carter et al., 2007).

Recolectar agua de niebla es un método pasivo, sostenible y de bajo costo de mantenimiento. Asimismo, el sistema de recolección y operación es sencillo, y su costo asociado para su implementación es mínima (Qadir et al., 2021). No en tanto, existen ciertos desafíos para recolectar niebla tales como falta de políticas de apoyo, comunidades inexpertas, desigualdad de género, e instituciones locales limitadas (Regalado and Ritter, 2016). Si estos desafíos son superados nace la oportunidad de proveer de agua potable sobre áreas donde la intensidad y duración de niebla son suficientes (Qadir et al., 2021).

Perú posee casi el 4% del agua dulce mundial, pero la mayoría de la reservas se encuentra en la región amazónica que mantiene el 5% de la población (Americas, 2019). Lima es la segunda ciudad desértica más grande del mundo y alberga más de 10 millones de personas (29.9%) (INEI, 2022). Además, esta ciudad responde al mayor consumo de agua potable de todo el Perú, siendo su acceso proveído por medio de 3 cuencas de ríos (Rímac, Lurín y Chillón) y por el intermedio de cisternas áreas remotas que no cuentan con servicio de agua potable. Esto porque esta ciudad casi no muestra precipitaciones (menos de 4 cm al año), casi no se observa el sol durante el año, pero la humedad puede alcanzar el 98% (presenta niebla), haciéndolo adecuado para recolectar agua usando diversos arreglos de redes (El País, 2016).

Experiencias previas de recolección de agua de niebla fueron reportados en los distritos de San Juan de Lurigancho (Andina, 2020) y Villa María del Triunfo (GEMRA, 2020). No en tanto, en la literatura científica no fueron reportados estas investigaciones. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar resultados de la recolección de agua de niebla obtenidos usando dos colectores (estándar y hexagonal) en dos distritos de la ciudad de Lima: Villa el Salvador (VES) y Ventanilla (VEN) en el periodo de abril de 2020 a marzo del 2021.

## 4. Materiales y Métodos

### 4.1. Áreas de estudio

Las áreas de estudio corresponden a dos distritos de la Ciudad de Lima: Villa el Salvador (VES) y Ventanilla (VEN), en donde variables meteorológicas fueron estudiadas, así como la recolección de niebla en ambas áreas utilizando dos colectores: el estándar y hexagonal (Figura 1).

El distrito de Villa el Salvador (VES, 12° 12' 34" S; 76° 56' 08" O) está ubicado en la parte sur de Lima y tiene una superficie de 35460 km<sup>2</sup> con una población de 423887 habitantes. Se encuentra asentado sobre el desierto de la Tablada de Lurín con una altura de 143 m.s.n.m., con clima árido, semicálido y nuboso en diferentes periodos del año (MDVS, 2019). Presenta Temperaturas que fluctúan entre los 15°C y 23°C, la humedad relativa oscila entre 80 y 100%, y muestra precipitaciones medias de 25 mm anual. La principal fuente de agua potable es el río Rímac, y pozos (MDVS, 2019).

El distrito de Ventanilla (VEN, 11° 52' 14" S; 77° 7' 17" O) está localizado en el departamento del Callao y tiene una superficie de 7888 km<sup>2</sup> con una población de 428284 habitantes (Distrito Ventanilla, 2021) y altura de 71 m.sn.m. Su clima tropical y subtropical con ambientes áridos, semiárido y desérticos. Presenta temperatura promedio anual que oscila entre 18.75°C a 19.75°C y humedad relativa que varía entre 85% al 87% (Distrito Ventanilla, 2021).



**Figura 1.** Ubicación de las áreas de estudio: Villa el salvador (VES – P1), y Ventanilla (VEN – P2).

#### 4.2. Diseño e implementación de los colectores de niebla

La potencial recolección de niebla en ambos distritos: i) Villa el Salvador (VES) y ii) Ventanilla (VEN) de la ciudad de Lima fueron investigados utilizando colectores de niebla estándar (SFC) y el atrapanieblas de huella hexagonal (HFC) (Figura 2A).

El SFC fue construido utilizando una malla de polipropileno de 1m<sup>2</sup>, de capa doble, e instalado sobre 2 m del suelo (apoyado con postes en cada extremo), con 35% coeficiente de sombra y dispuesto de manera perpendicular a la dirección del viento predominante (Azeem et al., 2020).

El HFC fue construido teniendo en cuenta que cada lado del hexágono 1 m x 0.7 m, usándose seis lados con una longitud de 2 m y una altura de 1 m, y área de 2m<sup>2</sup>. (Palacion et al., 2018). Este modelo permite lograr mejor resistencia a los vientos y mayor permanencia de la niebla. Su instalación fue considerando las mismas características que al SFC.

Canaletas para recolectar el agua captada fueron construidas usando botellas de plástico y mangueras, las cuales fueron ubicadas en la parte inferior de cada panel, de manera que permita que el agua captada se deslice hacia el tanque de almacenamiento (Figura 2B).



**Figura 2.** Colectores de niebla estándar y hexagonal implementado en Villa el Salvador (VES)

#### **4.3. Colección de niebla**

Agua fresca de la niebla fue colectado diariamente por la mañana (iniciando 06:00 am) en ambas áreas de estudio. Para ello, se usó un recipiente de plástico (con escala) de 60 L durante 12 meses (01 de abril del 2020 al 30 de marzo del 2021) para obtener datos suficientes y exactos

#### **4.4. Condiciones atmosféricas**

En orden de investigar las condiciones climáticas en las dos áreas de estudio, datos meteorológicos como temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitación (mm), humedad relativa (5) y dirección y velocidad del viento fueron obtenidas de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del Servicio nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi) para todo el periodo de estudio (Senamhi, 2022). El objetivo de evaluar el tiempo atmosférico fue para saber si este era apto para los diseños estudiados.

#### **4.5. Análisis estadístico**

En orden de investigar las condiciones climáticas en las dos áreas de estudio, datos meteorológicos como temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitación (mm), humedad relativa (5) y dirección y velocidad del viento fueron obtenidas de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del Servicio nacional de Meteorología e

Hidrología (Senamhi) para todo el periodo de estudio (Senamhi, 2022). El objetivo de evaluar el tiempo atmosférico fue para saber si este era apto para los diseños estudiados.

## 5. RESULTADOS

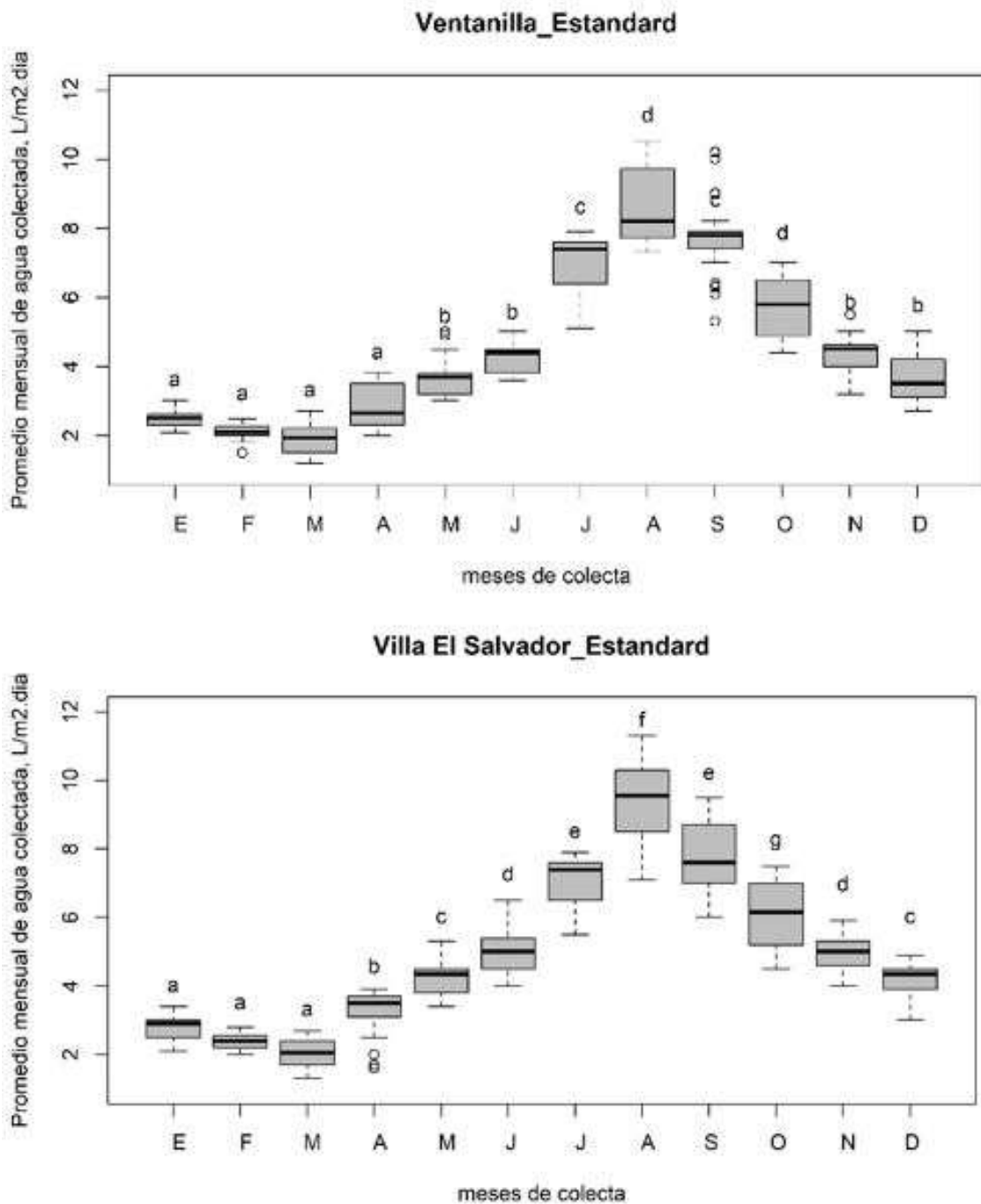
### 5.1. Monitoreo del agua colectada

Resultados de monitoreo del agua de niebla por 12 meses (mayo 2020 a abril 2021) en Ventanilla (VEN) y Villa El Salvador (VES) usando el sistema estándar es mostrado en la Figura 3.

El sistema estándar de atrapanieblas en V captó en promedio de  $4.56 \pm 2.26$  litros/año y en VES  $4.95 \pm 2.28$  litros/año, respectivamente. El agua captada promedio no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre estas áreas de estudio. Asimismo, la cantidad de agua colectada de niebla a cada mes muestra similar comportamiento para ambas áreas de estudio (VEN y VES) con cantidades menores de agua colectada entre los meses de enero a Abril (menor a 4 L/mes), observándose un incremento de mayo hasta agosto (mayor colecta) y reducción de setiembre a diciembre (Figura 3).

La máxima cantidad promedio de agua (L/m<sup>2</sup>) fue recolectada en agosto para ambas áreas Villa El Salvador (VES,  $9.34 \pm 1.20$  L/mes) y Ventanilla (VEN,  $8.63 \pm 1.05$  L/mes), quienes mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En Ventanilla la máxima cantidad de agua colectada fue de 10.5 L/día y la mínima de 1.2 L/día. En Villa El Salvador fue colectado un máximo y mínimo de 11.3 L/día y 1.3 L/día, respectivamente.



**Figura 3.** Cantidad de agua por mes captada en L durante los 12 meses de monitoreo en VEN y VES usando el sistema standard de atrapanieblas.

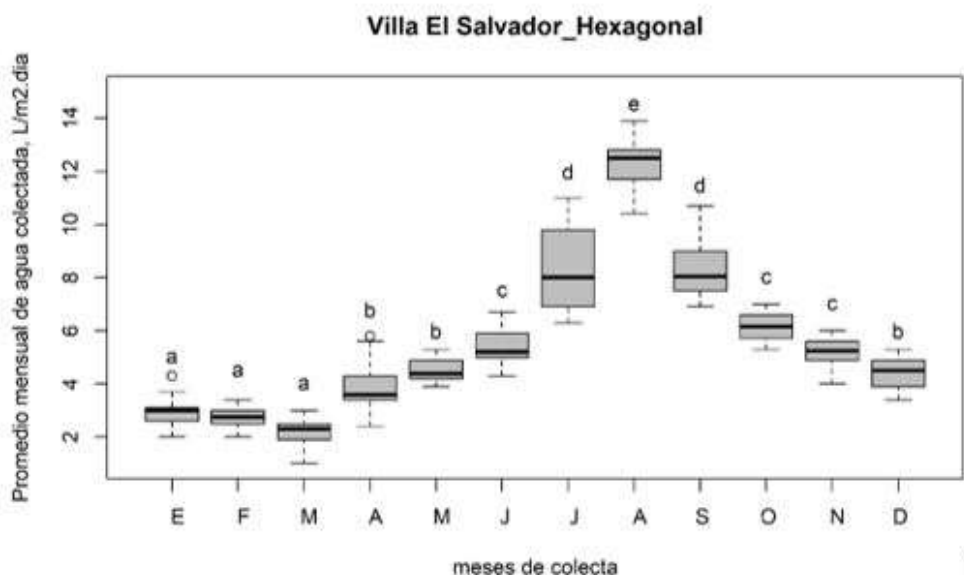
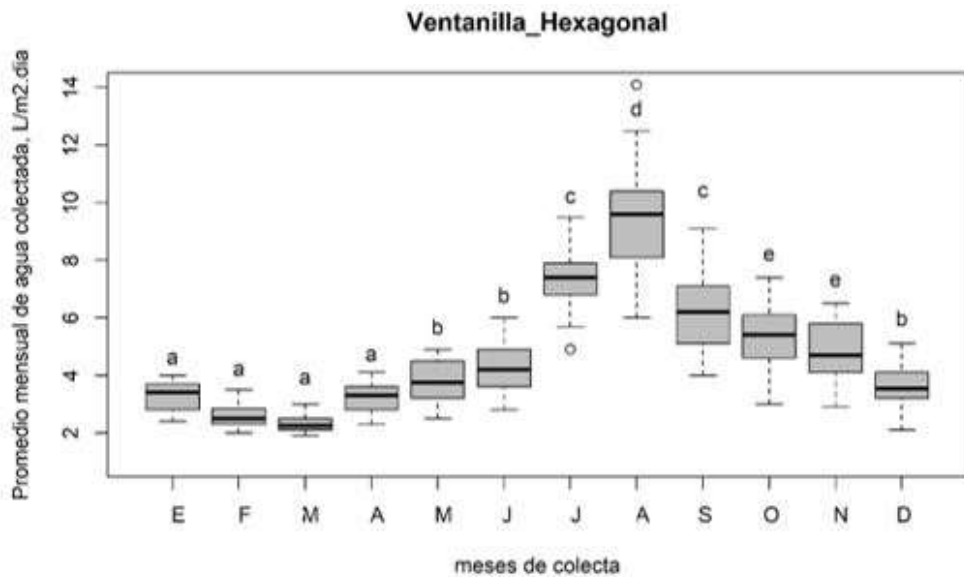
Resultados de monitoreo del agua de niebla por 12 meses (mayo 2020 a abril 2021) en Ventanilla (VEN) y Villa El Salvador (VES) usando el sistema hexagonal es mostrado en la Figura 4.

El sistema hexagonal de atrapanieblas en VEN captó en promedio de  $4.70 \pm 2.24$  litros/año y en VES  $5.53 \pm 2.88$  litros/año, respectivamente. El agua captada

promedio mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre estas áreas de estudio. Asimismo, la cantidad de agua colectada de niebla a cada mes muestra similar comportamiento para ambas áreas de estudio (VEN y VES) con cantidades menores de agua colectada entre los meses de enero a Abril (menor a 5 L/mes), observándose un incremento de mayo hasta agosto (mayor colecta) y reducción de setiembre a diciembre.

La máxima cantidad promedio de agua (L/mes) fue recolectada en agosto para ambas áreas Villa El Salvador (VES,  $12.31 \pm 0.84$  L/mes) y Ventanilla (VEN,  $9.51 \pm 1.82$  L/mes), quienes mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

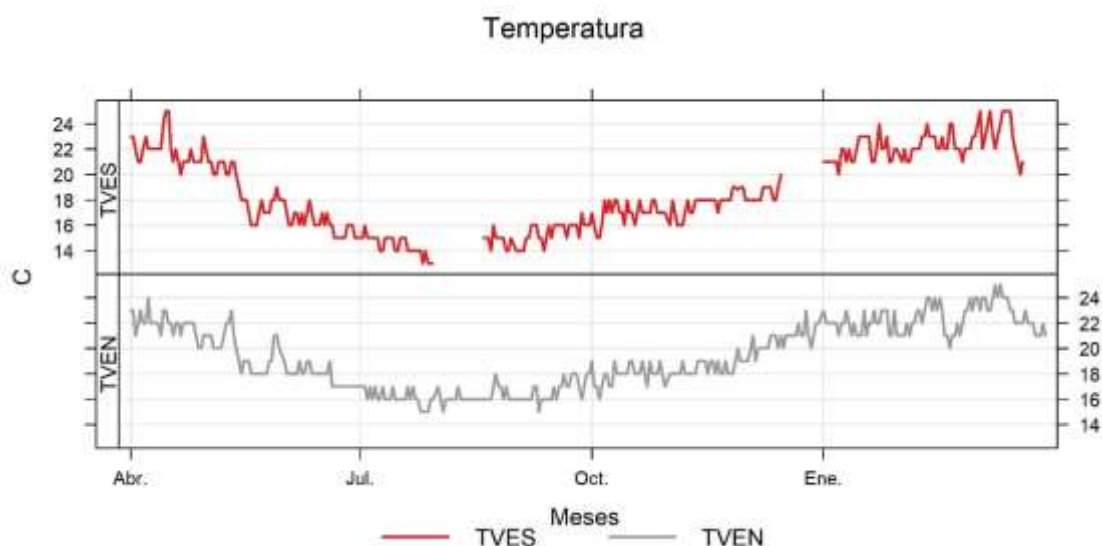
En Ventanilla la máxima cantidad de agua colectada fue de 14.1 L/m<sup>2</sup>.dia y la mínima de 1.9 L/m<sup>2</sup>.dia En Villa El Salvador fue colectado un máximo y mínimo de 13.9 L/m<sup>2</sup>.dia y 1.0 L/m<sup>2</sup>.dia, respectivamente.



**Figura 4.** Cantidad de agua captada por mes en L durante los 12 meses de monitoreo en V y VES usando el sistema hexagonal de atrapanieblas.

## 5.2. Análisis de datos meteorológicos

En la Figura 5 se presenta la temperatura diaria registrada en las áreas de estudio (VES y VEN) entre abril de 2020 a marzo del 2021. De la Figura 5 se observa una reducción de temperatura entre los meses de abril a agosto, y con incremento de este desde setiembre hasta marzo, mismo comportamiento observado en ambas áreas de estudio. La temperatura promedio anual fue de  $18.60 \pm 3.11$  °C y  $19.36 \pm 2.53$  °C para Villa El Salvador (VES) y Ventanilla, respectivamente. En Ventanilla la temperatura máxima y mínima fue 25.2°C y 1.2°C, mientras VES presentó 25.3°C y 1.3°C, respectivamente.

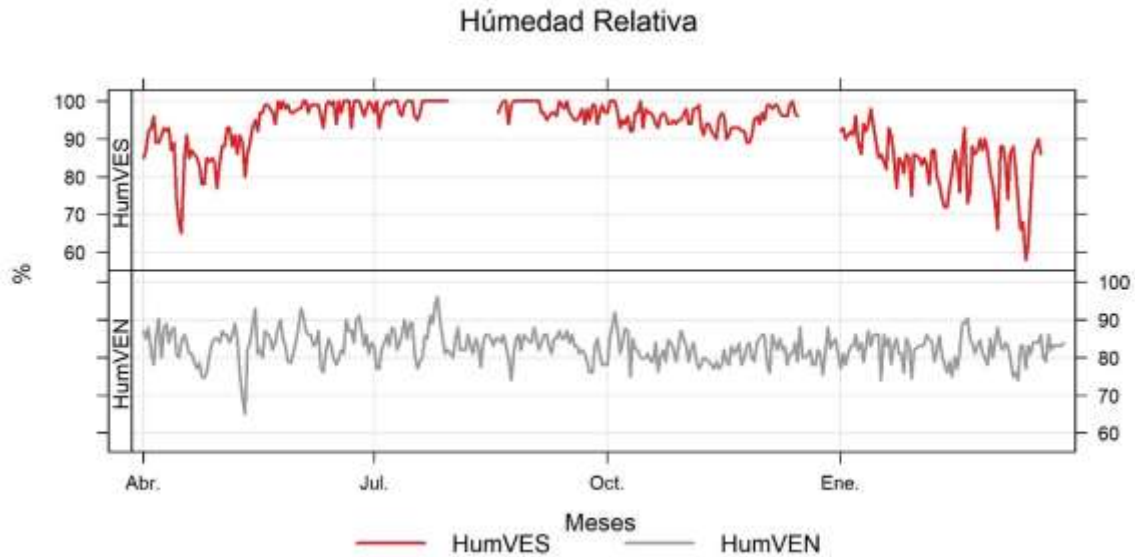


**Figura 5.** Temperatura de las áreas de estudio (V y VES) medidas de abril 2020 a marzo de 2021 en la estación meteorológica de ambas ciudades

La Figura 6 muestra la humedad diaria registrada en las áreas de estudio (VES y VEN) entre abril de 2020 a marzo del 2021.

El promedio anual de humedad anual fue de  $82.75 \pm 4.01\%$  en Ventanilla (VEN), mientras en Villa El Salvador (VES)  $92.13 \pm 7.99\%$  (Figura 6). Diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) fue encontrado entre las medias de meses de humedad, pero con similar comportamiento (reducción de enero a marzo y de agosto a

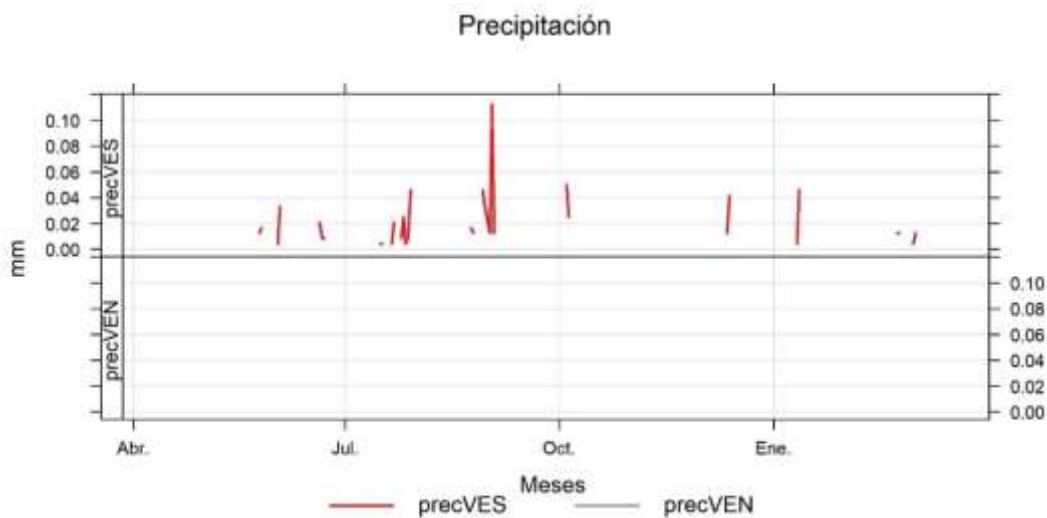
noviembre) entre ambas áreas estudiadas. Mayor valor de humedad relativa fue observado en el mes de agosto con  $99.04 \pm 1.73\%$  y  $99.04 \pm 1.73\%$  para VES y en julio con  $84.98 \pm 4.71\%$  en VEN, respectivamente. Asimismo, en VEN la humedad relativa vario de 65.17 a 95.62%, y en VES tuvo el rango de 57.6 a 99.99%.



**Figura 6.** Humedad relativa de las áreas de estudio (V y VES) medidas de Abril 2020 a marzo de 2021 en la estación meteorológica de ambas ciudades

La Figura 7 presenta la precipitación diaria registrada en las áreas de estudio (VES y VEN) entre abril de 2020 a marzo del 2021.

Como observado en la Figura 7, en ambas áreas de estudio casi no se presentan precipitaciones en todo el año, y si se presenta como es el caso de Villa El Salvador (VES) su máxima cantidad llega a 0.10 mm.



**Figura 7.** Precipitación de las áreas de estudio (V y VES) medidas de Abril 2020 a marzo de 2021 en la estación meteorológica de ambas ciudades

## 6. DISCUSIONES

### 6.1. Monitoreo del agua colectada

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el agua debe ser accesible físicamente y que la fuente debe encontrarse a menos de 1000 m de distancia y que el tiempo desplazamiento para colectarla no debería ser mayor a 30 minutos (OMS, 2011). Asimismo, sostienen que el agua debe ser saludable, asequible, suficiente, aceptable y continuo para su uso personal y doméstico. Basada a la cantidad la OMS indica que son necesarias entre 50 y 100 L de agua por persona y diaria para que se garantice que se cubran todas las necesidades básicas y se eviten preocupaciones en temas de salud (OMS, 2011). No en tanto, el WHO/Unicef indican 20 l por persona para satisfacer todas sus necesidades y un mínimo de 7.5 L como mínimo básico para consumo de boca o alimentación (WHO/Unicef, 2015).

En Ventanilla el sistema estándar y hexagonal mostraron una colecta de agua de niebla promedio anual de  $4.56 \pm 2.26$  L/año y  $4.70 \pm 2.24$  L/año, siendo que estos no muestran diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). Similares resultados fue reportado por Schemenauer and Cereceda, (1992) quien reportó una media anual de 4.5 L/m<sup>2</sup> en Chile. Asimismo, mayores cantidades de colecta de agua

de niebla por día fue obtenida en el mes de agosto, donde se alcanzaron valores de 10.5 L/día y 14.1 L/día, con el sistema estándar y hexagonal, respectivamente.

En Villa El Salvador, el sistema estándar colecto agua de niebla promedio anual de  $4.95 \pm 2.28$  L/año, mientras el sistema hexagonal reporto  $5.53 \pm 2.88$  litros/año. Ambos promedios no mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre estos. Cantidades mayores de agua de niebla fueron encontrados en el mes de agosto que reportaron valores de 11.3 L/día y 13.9 L/m<sup>2</sup>.día, con el sistema estándar y hexagonal, respectivamente.

Mayores cantidades de agua recolectado por ambos sistemas en Villa el Salvador (VES, altura=173 m.s.n.m) comparado a Ventanilla (VEN, altura =71 m.s.n.m) podría estar relacionado a que esta área de estudio se encuentra a una mayor altura. Qadir et al., (2021) sostiene que a mayores alturas mayor la cantidad de agua formada por causa de la condensación del agua.

Un incremento de temperatura implica en una reducción de la humedad relativa y viceversa (Byrne and O’Gorman, 2018; Wu et al., 2020). Como reportado por los resultados mayores cantidades de agua de niebla fueron colectados en el mes de agosto. Además, el sistema hexagonal fue quien recolecto mayor cantidad de agua de niebla comparado al sistema estándar. Basado en el escenario meteorológico puede observarse que en la humedad relativa (Figura 6) se incrementa en los meses que la temperatura disminuye (Figura 5), evento que favorece la formación de gotas que son atrapadas por las mallas. Al-hassan, (2009) reportó similar comportamiento en Asir (Arabia Saudi) con mayor colección de agua de niebla en meses que presentan menor temperatura, pero mayor humedad relativa. Asimismo, Palacion et al., (2018) usando el sistema hexagonal colecto mayor cantidad de agua de niebla en el mes que tuvo mayor precipitación, menor temperatura y mayor humedad.

Esto quiere decir que entre los meses de abril (empieza a disminuir la temperatura) a agosto (mes con menores temperaturas) habrá mayor porcentaje de humedad, siendo este último mes del año donde se producirá mayores

cantidades de agua. Asimismo, en los otros meses se espera menor generación de agua como encontrado en esta investigación.

La humedad formada en estas áreas está relacionada a sus alturas moderadas, sus condiciones climáticas, topográficas y el monzón producido en la costa del mar que hace que el viento lleve la humedad del aire a estas áreas. Parte de esta humedad inicia a condensarse haciendo que alcance el punto de rocío a condiciones ambientales. Así, definir una cantidad mínima de agua y asegurar su constancia es vital para determinar si una localidad debería o no explorar fuentes alternativas de agua (ONU-DAES, 2014).

La mayor captación de agua de niebla por parte del sistema hexagonal comparado al standard está probablemente relacionado a la mayor área y capas empleadas en este sistema. Este sistema tiene la ventaja también de instalarlos de cualquier manera sin necesidad de llevar a cabo estudios previos del área de estudio.

Este trabajo demuestra al igual a previas publicaciones científicas (Okello et al., 2015; Regalado and Ritter, 2016) que recolectar agua de niebla en áreas con elevada humedad relativa y bajas temperaturas y viento resulta ser eficiente.

## **7. CONCLUSIONES**

Los dos sistemas de atrapanieblas el estándar y hexagonal lograron captar agua de niebla en ambas áreas de estudio, los cuales podrían ser replicados como alternativas de solución para captar agua. En ambas áreas de estudio el mes de agosto, donde la temperatura disminuyó y la humedad relativa se incrementó fue donde más agua de niebla fue recolectada por ambos sistemas. En relación a la altura, en Villa El Salvador (173 m.s.n.m.) se logró coleccionar mayores cantidades de agua comparado a Ventanilla (71 m.s.n.m). Ambos sistemas son técnicas alternativas para coleccionar agua faltante en estas áreas desérticas para usarlos en diversas actividades domésticas.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- 1 Abedin, M.A., Collins, A.E., Habiba, U., Shaw, R., 2019. Climate Change, Water Scarcity, and Health Adaptation in Southwestern Coastal Bangladesh. *Int. J. Disaster Risk Sci.* 10, 28–42.  
<https://doi.org/10.1007/s13753-018-0211-8>
- 2 Abhiram, M., Dhivya Priya, N., Geetha, P., 2015. Fog Harvesting – A Wind Flow Perspective in Western Ghats, Coimbatore, Tamil Nadu. *Indian J. Sci. Technol.* 8, 1–6.  
<https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i28/87123>
- 3 Al-hassan, G.A., 2009. Fog Water Collection Evaluation in Asir Region– Saudi Arabia. *Water Resour. Manag.* 23, 2805–2813.  
<https://doi.org/10.1007/s11269-009-9410-9>
- 4 Americas, 2019. How countries manage water: Peru [WWW Document]. *Am. Q.* URL <https://www.americasquarterly.org/article/how-countries-manage-water-peru/> (accessed 6.21.22).
- 5 Andina, 2020. Estudiantes diseñan atrapanieblas para recolectar agua en San Juan de Lurigancho [WWW Document]. Agencia Andin. URL <https://andina.pe/agencia/noticia-estudiantes-disenan-atrapanieblas-para-recolectar-agua-san-juan-lurigancho-869880.aspx> (accessed 7.7.22).
- 6 Azeem, M., Noman, M.T., Wiener, J., Petru, M., Louda, P., 2020. Structural design of efficient fog collectors: A review. *Environ. Technol. Innov.* 20, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101169>
- 7 Byrne, M.P., O’Gorman, P.A., 2018. Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 115, 4863–4868. <https://doi.org/10.1073/pnas.1722312115>
- 8 Carter, V., Schemenauer, R.S., Osses, P., Streeter, H., 2007. The Atacama Desert Fog Collection Project at Falda Verde, Chile. *Proc. 4th Int. Conf. Fog, Fog Collect. Dew* 1, 3–6.
- 9 Distrito Ventanilla, 2021. Ventanilla [WWW Document]. *Munic. Vent.* URL <https://www.distrito.pe/distrito-ventanilla.html> (accessed 7.8.22).
- 10 Do Nascimento, G.A.R., 2018. e la corte Interamericana de derechos humanos. *Estud. Const.* 1, 245–280.

- 11 El País, 2016. Atrapar la niebla para tener agua en el desierto de Lima [WWW Document]. El País-Planeta Futur. URL [https://elpais.com/elpais/2016/08/01/planeta\\_futuro/1470047619\\_925392.html](https://elpais.com/elpais/2016/08/01/planeta_futuro/1470047619_925392.html) (accessed 6.21.22).
- 12 Gao, X., Schlosser, C.A., Fant, C., Strzepek, K., 2018. The impact of climate change policy on the risk of water stress in southern and eastern Asia. *Environ. Res. Lett.* 13, 064039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaca9e>
- 13 GEMRA, 2020. Atrapanieblas en Villa María del Triunfo [WWW Document]. Grup. Estud. del Medio Ambient. y Recur. del Agua. URL <http://blog.pucp.edu.pe/blog/gemrapucp/2020/11/29/atrapanieblas-en-villa-maria-del-triunfo/> (accessed 7.7.22).
- 14 Imteaz, M.A., Al-Hassan, G., Shanableh, A., Naser, J., 2011. Development of a mathematical model for the quantification of fog-collection. *Resour. Conserv. Recycl.* 57, 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.014>
- 15 INEI, 2022. Lima supera los 10 millones de habitantes al año 2022 [WWW Document]. Inst. Nac. Estadística e Informática. URL <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/lima-supera-los-10-millones-de-habitantes-al-ano-2022-13297/> (accessed 6.21.22).
- 16 MDVS, 2019. Datos generales: Villa el Salvador [WWW Document]. Munic. Dist. Villa el Salvador. URL <https://www.munives.gob.pe/distrito.php#:~:text=Cuenta con una superficie de,muestra la ubicación del distrito.> (accessed 7.8.22).
- 17 Okello, C., Tomasello, B., Greggio, N., Wambiji, N., Antonellini, M., 2015. Impact of Population Growth and Climate Change on the Freshwater Resources of Lamu Island, Kenya. *Water* 7, 1264–1290. <https://doi.org/10.3390/w7031264>
- 18 OMS, 2011. Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda, Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
- 19 ONU-DAES, 2014. Decenio internacional para la acción “El agua fuente de vida” 2005-2015 [WWW Document]. Dep. asuntos económicos y Soc. las Nac. Unidas. URL

- [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_sustainable\\_development.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml) (accessed 7.27.22).
- 20 Palacion, V.B., Reyes, L.D., Hoy, S.M., 2018. Evaluación De La Calidad De Agua De Niebla Recolectada En Choachí, Colombia. *Inventum* 13, 53–60. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inven>
- 21 Qadir, M., Jiménez, G.C., Farnum, R.L., Trautwein, P., 2021. Research History and Functional Systems of Fog Water Harvesting. *Front. Water* 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.675269>
- 22 Regalado, C.M., Ritter, A., 2016. The design of an optimal fog water collector: A theoretical analysis. *Atmos. Res.* 178, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.03.006>
- 23 Ritter, A., Regalado, C., Guerra, J., 2015. Quantification of Fog Water Collection in Three Locations of Tenerife (Canary Islands). *Water* 7, 3306–3319. <https://doi.org/10.3390/w7073306>
- 24 Schemenauer, R.S., Cereceda, P., 1992. The Quality of Fog Water Collected for Domestic and Agricultural Use in Chile. *J. Appl. Meteorol.* 31, 275–290. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1992\)031<0275:TQOFWC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1992)031<0275:TQOFWC>2.0.CO;2)
- 25 Senamhi, 2022. Pronóstico del tiempo a nivel nacional [WWW Document]. Serv. Nac. Meteorol. e Hidrol. del Perú. URL <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico> (accessed 7.15.22).
- 26 WHO/Unicef, 2015. Progress on sanitation and drinking water. USA.
- 27 Wu, Y., Jing, W., Liu, J., Ma, Q., Yuan, J., Wang, Y., Du, M., Liu, M., 2020. Effects of temperature and humidity on the daily new cases and new deaths of COVID-19 in 166 countries. *Sci. Total Environ.* 729, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139051>

## 9. ANEXOS

### 9.1. Evidencia de Sumisión de Artículo

REVISTA: WATER

MANUSCRITO DE IDENTIFICACION: WATER-2184539 TIPO DE

MANUSCRITO: ARTICULO



1 *Type of the Paper (Article)*

### 2 **Quantification of fog water collected in two cities of Lima (Peru)**

3 **Andrés Cáceres Hualla <sup>1,\*</sup>, Luz Cairampoma Trañez <sup>1</sup>, Alex Huamán De La Cruz <sup>2,\*</sup>, Javier Linkolk López-Gonzales**  
4 **<sup>1</sup>, Orlando Poma Porras <sup>1</sup>, Fredi Gutiérrez Martínez <sup>1</sup>, Mohamed Mehdi Hadi Mohamed <sup>3</sup>, Ruben Tapia Silguera <sup>2</sup>,**  
5 **Hilario Romero Giron <sup>3</sup>, Andrés Camargo Caysahuana <sup>3</sup>**

6 <sup>1</sup> Universidad Peruana Unión, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Carretera Central Km 19.4 Ñaña,  
7 Chosica, Perú; andrescaceres@upeu.edu.pe, luzcairampoma@upeu.edu.pe, javierlinkolk@gmail.com,  
8 opoma@upeu.edu.pe

9 <sup>2</sup> Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa; alebut2@hotmail.com

10 <sup>3</sup> Universidad Peruana Los Andes; d.fgutierrez@upla.edu.pe, d.mhadi@upla.edu.pe, d.rtapia@upla.edu.pe,  
11 d.hromero@upla.edu.pe, andres\_fiq@hotmail.com

12  
13 \* Correspondence: alebut2@hotmail.com; andrescaceres@upeu.edu.pe

14 **Abstract:** The scarcity of fresh water is one of the greatest issues in achieving sustainable develop-  
15 ment in the cities of Lima, Peru. Since this area is desertic and has a tropical climate and little pre-  
16 cipitation, their population has no access to potable water. Thus, this work aimed to show the results  
17 of fog water collection obtained with the standard fog collector (SFC) and hexagonal fog collector  
18 (HFC) at two locations in Lima city (Peru): Villa El Salvador (VES, 143 m a.s.l) and Ventanilla (VEN,  
19 71 m.a.s.l). These fog collectors were installed in March 2020 and data was measured from April  
2020 to March 2021. Concomitant meteorological variables (temperature, precipitation, humidity,  
wind direction, and speed) were also measured. The results indicate an average water collection of  
4.56 ± 2.26 L/year and 4.95 ± 2.28 L/year using the SFC collector in VEN and VES, respectively. The  
HFC collector showed an average of 4.70 ± 2.24 L/year and 5.53 ± 2.88 L/year for VEN and VES,

Citation: Hualla, A.C.; Trañez, L.C.;  
De La Cruz, A.H.; López-Gonzales,  
J.L.; Porras, O.P.; Martínez, F.G.;  
Hadi-Mohamed, M.M.; Silguera,

dos Unidos)

The screenshot shows a journal website interface. At the top, there is a navigation bar with links for Journals, Topics, Information, Author Services, Initiatives, and About. Below this, a 'User Menu' is visible on the left, containing options like Home, Manage Accounts, Change Password, Edit Profile, and Logout. The main content area is titled 'Co-Authored Manuscripts' and features a 'Manuscripts status' table. The table has columns for 'Manuscript-ID', 'Journal', 'Section / Special Issue', and 'Title'. One entry is visible: 'water-2184539 Water Quantification of fog water collected in two cities of Lima ...'.

---

**[Water]** Manuscript ID: **water-2184539** - Submission Received

---

CC: Andrés Cáceres Hualla <andrescaceres@gmail.com>; LUZ ROXANA CAIRAMPOMA TRAÑEZ y 7 más

Dear Dr. DE LA CRUZ,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: **Water**

Manuscript ID: **water-2184539**

Type of manuscript: Article

Title: Quantification of fog **water** collected in two cities of Lima (Peru)

Authors: Andrés Cáceres Hualla \*, Luz Cairampoma Trañez, Alex Ruben HUAMAN DE LA CRUZ \*, Javier Linkolk López-Gonzales, Orlando Poma Porras, Fredi Gutiérrez Martínez, Mohamed Mehdi Hadi Mohamed, Ruben Tapia Silguera, Hilario Romero Giron, Andrés Camargo Caysahuana

Received: 10 January 2023

E-mails: andrescaceres@gmail.com, luzcairampoma@upeu.edu.pe, alebut2@hotmail.com, javierlinkolk@gmail.com, opoma@upeu.edu.pe, d.fgutierrez@upla.edu.pe, d.mhadi@upla.edu.pe, d.rtapia@upla.edu.pe, d.hromero@upla.edu.pe, andres\_fiq@hotmail.com

You can follow progress of your manuscript at the following link (login required):

[https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review\\_info/81e31981334318f73a7ce2bbf959e1e4](https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/81e31981334318f73a7ce2bbf959e1e4)

The following points were confirmed during submission:

1. **Water** is an open access journal with publishing fees of 2200 CHF for an accepted paper (see <https://www.mdpi.com/about/apc/> for details). This manuscript, if accepted, will be published under an open access Creative Commons CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), and I agree to pay the Article Processing Charges as described on the journal webpage (<https://www.mdpi.com/journal/water/apc>). See <https://www.mdpi.com/about/openaccess> for more information about open access publishing.

Please note that you may be entitled to a discount if you have previously received a discount code or if your institute is participating in the MDPI Institutional Open Access Program (IOAP), for more information see <https://www.mdpi.com/about/ioap>. If you have been granted any other special discounts for your submission, please contact the **Water** editorial office.

2. I understand that:

a. If previously published material is reproduced in my manuscript, I will provide proof that I have obtained the necessary copyright permission. (Please refer to the Rights & Permissions website:

<https://www.mdpi.com/authors/rights>).

b. My manuscript is submitted on the understanding that it has not been published in or submitted to another peer-reviewed journal. Exceptions to this rule are papers containing material disclosed at conferences. I confirm that I will inform the journal editorial office if this is the case for my manuscript. I confirm that all authors are familiar with and agree with submission of the contents of the manuscript. The journal editorial office reserves the right to contact all authors to confirm this in case of doubt. I will provide email addresses for all authors and an institutional e-mail address for at least one of the co-authors, and specify the name, address and e-mail for invoicing purposes.

If you have any questions, please do not hesitate to contact the [Water](mailto:water@mdpi.com) editorial office at [water@mdpi.com](mailto:water@mdpi.com)

Kind regards,  
[Water](mailto:water@mdpi.com) Editorial Office  
St. Alban-Anlage 66, 4052 Basel, Switzerland  
E-Mail: [water@mdpi.com](mailto:water@mdpi.com)  
Tel. +41 61 683 77 34  
Fax: +41 61 302 89 18



## “AÑO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA SALUD”

### RESOLUCIÓN N° 0637/A-2020/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña, 28 de octubre de 2020

#### VISTO:

El expediente de **Andres Caceres Hualla y Luz Roxana Cairampoma Trañez**, identificados con Código Universitario N° 201522110 y 201522104, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

#### CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que Andres Caceres Hualla y Luz Roxana Cairampoma Trañez, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado “Evaluación de la Eficiencia de Colecta de agua del Sistema de Atrapanieblas Hexagonal y Estándar en Asentamiento Humano Ida Lossio Villa el Salvador Y Asentamiento Humano Villa Pachacutec (Ventanilla), Perú” y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 27 de octubre de 2020, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

#### SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado “**Evaluación de la Eficiencia de Colecta de agua del Sistema de Atrapanieblas Hexagonal y Estándar en Asentamiento Humano Ida Lossio Villa el Salvador Y Asentamiento Humano Villa Pachacutec (Ventanilla), Perú**” y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar al **Ing. Orlando Alan Poma Porras** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga** y **Ing. Reymundo Jaulis Palomino**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. María Valeros Atalaya de Cornejo  
DECANA (e)



Mg. Sergio Omar Valladares Castillo  
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:

-Interesado  
Asesor  
Dirección General de Investigación  
Archivo

NOMBRE DEL TRABAJO

**Cuantificación del agua de niebla colectada en dos ciudades de Lima (Perú).docx**

AUTOR

**Andres Caceres**

RECUENTO DE PALABRAS

**4035 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**21929 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**19 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**967.6KB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 21, 2022 10:59 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 21, 2022 11:00 AM GMT-5****● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)