

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**ESCUELA DE POSGRADO**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

**“EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL  
DE UN GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICA (AWG)  
IMPULSADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN  
CONDICIONES CLIMÁTICAS DE CHACHAPOYAS”**

**Autor: Bach. Roicer Esmil Bautista Alcantara**

**Asesor: Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz**

**Registro:.....**

**CHACHAPOYAS-PERÚ**

**2023**

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS DE MAESTRÍA EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



## ANEXO 6-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS DE MAESTRÍA (X)/DOCTORADO ( ) EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Bautista Alcántara Roicer Esmir  
DNI N°: 48179747  
Correo electrónico: roicer.bautista@untrm.edu.pe  
Nombre de la Maestría (X) / Doctorado ( ): Gestión para el Desarrollo Sustentable

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Nombre de la Maestría ( ) / Doctorado ( ): \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el grado académico de Maestro (X) / Doctor ( )

Viabilidad técnica, económica y ambiental de un generador de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Segundo Manuel Oliva Cruz  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 05374749  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) 0000-0002-9670-0970

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: \_\_\_\_\_  
DNI, Pasaporte, C.E N°: \_\_\_\_\_  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) \_\_\_\_\_

#### 4. Campo del conocimiento según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

[https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde\\_ford.html](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
Ingeniería y tecnología

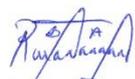
#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el( la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la Licencia creative commons de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación -RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 08 / Marzo / 2023

  
Firma del autor 1

\_\_\_\_\_  
Firma del autor 2

  
Firma del Asesor 1

\_\_\_\_\_  
Firma del Asesor 2

## **DEDICATORIA**

A mis padres Domel Bautista y Marcela por brindarme todo su apoyo, amor incondicional y por guiarme por el buen camino. A mis hermanos Richard, Yovani, Yamili, Yaneli y Tatiana por estar siempre al pendiente de mí.

A mis familiares y amigos que gracias a ellos hicieron renacer en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

**Roicer Bautista**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz, por su apoyo, orientaciones y compartir sus conocimientos para realizar la presente investigación.

Al Proyecto “Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas” (PROCICEA) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), por el apoyo con el equipamiento brindado para la realización de la investigación.

A mi amigo Wildor Gosgot Angeles, por su apoyo y aporte en el desarrollo de esta investigación.

Y a todas las personas, que han aportado de las diferentes maneras para el desarrollo de la presente investigación.

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Dr. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA**  
**RECTOR**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES**  
**VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA**  
**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**Dr. AFRAÍN MANUELITO CASTRO ALAYO**  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSTGRADO**

## VISTO BUENO DEL ASESOR



# UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 6-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X)/ DOCTOR ( )

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Viabilidad técnica, económica y ambiental de un generador de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas; cuyo autor Rolcer Esmir Bautista Alcantara es estudiante del \_\_\_\_\_ ciclo/egresado (X) de la Escuela de Posgrado, Maestría (X) / Doctorado ( ) en Gestión para el Desarrollo Sustentable, con correo electrónico institucional rolcer.bautista.cpg@untrm.edu.pe

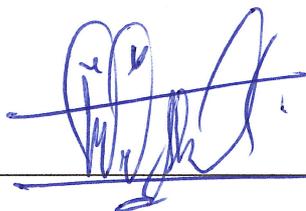
El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 03 de Febrero de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

  
Segundo Manuel Oliva Cruz  
DNI 05374749

**JURADO EVALUADOR**



---

**Dr. MEREGILDO SILVA RAMÍREZ**

**Presidente**



---

**Dr. FERNANDO ISACC ESPINOZA CANAZA**

**Secretario**



---

**M.Sc. GINO ALFREDO VERGARA MEDINA**

**Vocal**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



## ANEXO 6-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) / DOCTOR ( )

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Viabilidad técnica, económica y ambiental de un generador de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas

presentada por el estudiante ( ) / egresado (X) Bach. Rolcer Esmit Bautista Alcantara

de la Escuela de Posgrado, Maestría (X) / Doctorado ( ) en Gestión para

el Desarrollo Sustentable

con correo electrónico institucional rolcer.bautista.epg@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 08 de marzo del 2023

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 6-5

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) / DOCTOR ( )

En la ciudad de Chachapoyas, el día 27 de Marzo del año 2023 siendo las 16:00 horas, el aspirante Bach. Roicer Gamit Bautista Alcántara, Asesorado por Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz, defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UN GENERADOR DE AGUA ATMOSFÉRICA (AWG) IMPULSADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN CONDICIONES CLIMÁTICAS DE CHACHAPOYAS. para obtener el Grado Académico de Maestro (X) / Doctor ( ) en GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, conformado por:

Presidente: Dr. MERESILDO SILVA RAMÍREZ

Secretario: Dr. FERNANDO ISAAC ESPINOZA CANAZA

Vocal: MSC GINO ALFREDO VERGARA MEDINA

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis de Maestría (X) / Doctorado ( ), en términos de:

A probado (X) por Unanimidad (X) / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 17:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro (X) / Doctor ( ).

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS DE MAESTRÍA EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	ix
ÍNDICE GENERAL .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN .....	16
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
2.1. Área de estudio (Caracterización del área de estudio) .....	20
2.2. Sistema de generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica. ....	20
2.3. Evaluación de la cantidad de agua cosecha por el sistema AWG. ....	25
2.4. Evaluación de parámetros físicos y químicos del agua cosechada.....	25
2.5. Análisis de la viabilidad económica. ....	26
2.6. Análisis del impacto ambiental del sistema generación de agua atmosférica (AWG). ....	27
III. RESULTADOS.....	28
3.1. Implementación del sistema de generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica .....	28

3.2.	Evaluación del rendimiento del generador de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas. ....	29
3.2.1.	Relación de temperatura con la humedad relativa en Chachapoyas .	29
3.2.2.	Dirección y velocidad del viento.....	29
3.2.3.	Eficiencia de cosecha de agua del sistema de generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas) .....	30
3.2.4.	Parámetros físicos y químico del agua cosechada .....	31
3.3.	Análisis de la viabilidad económica. ....	32
3.3.1.	Costos del sistema AWG impulsado por energía fotovoltaica.....	32
3.3.2.	Beneficio costo.....	33
3.3.3.	Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	34
3.3.4.	Análisis del impacto ambiental del sistema generación de agua atmosférica (AWG).....	35
IV.	DISCUSIÓN .....	36
V.	CONCLUSIONES .....	38
VI.	RECOMENDACIONES.....	40
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Capacidad productiva del sistema en 24 h.....	22
<b>Tabla 2.</b> Resultados de Análisis Físico Químico del agua.....	31
<b>Tabla 3.</b> Costos del sistema AWG .....	33
<b>Tabla 4.</b> Relación Beneficio / Costo .....	34
<b>Tabla 5.</b> Flujos de caja .....	35
<b>Tabla 6.</b> Mitigación de emisión de CO <sub>2</sub> .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del Área de Estudio.....	20
<b>Figura 2.</b> Sistema de generación de agua atmosférica (AWG). Fuente (Water Solutions Perú, 2012).....	21
<b>Figura 3.</b> Generador de Agua Atmosférica.....	22
<b>Figura 4.</b> Ficha técnica, caja de conexión con cables (terminal positivo y negativo) y superficie de captación de los paneles fotovoltaicos de 275 Wp.....	23
<b>Figura 5.</b> Regulador de carga del sistema fotovoltaico.....	23
<b>Figura 6.</b> Baterías del sistema fotovoltaico.....	24
<b>Figura 7.</b> Inversor del sistema fotovoltaico .....	24
<b>Figura 8.</b> Diagrama del sistema generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica.....	25
<b>Figura 9.</b> Sistema de generación de agua atmosférica (AWG).....	28
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de la Temperatura - Humedad Relativa .....	29
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de la Velocidad del Viento.....	30
<b>Figura 12.</b> Agua Cosechada por el Sistema.....	31
<b>Figura 13.</b> Valor actual neto del sistema AWG.....	34

## RESUMEN

La escasez de agua es un desafío grande en los climas áridos y desiertos, es ahí donde la humedad del aire se convierte en una fuente potencial de agua dulce y que se puede acceder en cualquier lugar y también combinarse con fuentes de energía renovables para su aprovechamiento. El presente trabajo es referido a la evaluación técnica de un sistema solar de cosechador de agua atmosférico para lo cual se hizo uso de un generador de agua modelo F20 una capacidad de producir 20 litros/día, y una capacidad de almacenamiento de 9 L durante un periodo de 12 días teniendo en consideración las condiciones climáticas de Chachapoyas como son la humedad relativa, dirección y velocidad del viento. Se realizó la cosecha de agua entre el 17 al 29 de noviembre del 2021 con una obtención de 1.198 L/día y en el acumulado de 14.375. Luego se determinó los parámetros físicos y químicos, lo cual se analizó y concluyó que el agua cosechada no es apta para el consumo de humano, de acuerdo al ECA de Agua. En la parte económica, la relación beneficio costo es de 0.174, en el VAN y la TIR son negativos, lo cual nos indica que el proyecto no es viable económicamente. En cuanto a la mitigación de CO<sub>2</sub> se ha estimado que con el sistema fotovoltaico se dejaría de emitir 1,548.16 kg/año de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. En el desarrollo de esta investigación busco ayudar a convertir décadas de esfuerzo sobre la recolección de agua atmosférica en beneficios tangibles de la vida diaria.

**Palabras clave:** Generación de agua atmosférica, cosecha de agua, humedad relativa, energía solar y sistemas fotovoltaicos.

## **ABSTRACT**

Water scarcity is a major challenge in arid climates and deserts, where air humidity becomes a potential source of fresh water that can be accessed anywhere and can also be combined with renewable energy sources for its use. The present work is referred to the technical evaluation of a solar system of atmospheric water harvester for which use was made of a water generator model F20 with a capacity to produce 20 liters/day, and a storage capacity of 9 L during a period of 12 days taking into consideration the climatic conditions of Chachapoyas such as relative humidity, wind direction and speed. Water was harvested from November 17 to 29, 2021, obtaining 1,198 L/day and 14,375 L/day cumulatively. Physical and chemical parameters were then determined, which were analyzed and concluded that the harvested water is not fit for human consumption, according to the ECA. On the economic side, the benefit-cost ratio is 0.174, the VPN and TIR are negative, which indicates that the project is not economically viable. In terms of CO<sub>2</sub> mitigation, it has been estimated that the photovoltaic system would eliminate the emission of 1,548.16 kg/year of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. In developing this research, I seek to help turn decades of effort on atmospheric water harvesting into tangible benefits of everyday life.

**Keywords:** Atmospheric water generation, water harvesting, relative humidity, solar energy and photovoltaic systems.

## I. INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un problema mundial que aún no se ha resuelto adecuadamente, en regiones con acceso limitado a electricidad y agua subterránea o superficial, no siempre es posible proporcionar agua limpia que no requiera energía o una infraestructura extensa para su obtención (Feng et al., 2022). A pesar de la gran cantidad de agua en el planeta, la mayor parte (97,5 %) se encuentra en mares con alto contenido de sal, lo que la hace inapropiada para el consumo humano, mientras que solo el 2.5 % se encuentra en forma de agua dulce (Mendoza et al., 2019), de lo cual alrededor del 70 % de esta cantidad está congelada en los casquetes polares y prácticamente el 30 % existe en forma de humedad en el aire o en los acuíferos subterráneos. Por ello, se puede determinar que sólo menos del 1 % del agua dulce de la Tierra es asequible para el uso humano directo (Eslami, Tajeddini, & Etaati, 2018), 2.200 millones de personas actualmente no tienen acceso a servicios de agua potable, administrado de forma segura y eficiente (United Nations, 2019). Para el 2030, el 40 % de la población mundial vivirá en cuencas fluviales bajo severo estrés hídrico, mientras que el 20 % sufrirá inundaciones (United Nations, 2020). La escasez de agua es un fenómeno tanto natural como creado por el hombre. Las zonas con escasez de agua contribuyen a la pobreza (Joshi et al., 2017).

América Latina es el continente con mayor cantidad de agua dulce en el mundo, es el continente más golpeado por el cambio climático relacionado al crecimiento poblacional haciendo que el agua que se potabiliza diariamente no sea suficiente para cubrir la demanda (Kim et al., 2017). En el Perú, solo se ha logrado abastecer un 90 % de la población con agua dulce, el servicio tiene importantes limitantes, como por ejemplo un suministro intermitente, presión baja, mala calidad, entre otros aspectos técnicos según la página *América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed / Internacional / EL PAÍS*, s. f. El suministro de agua dulce sostenible se ha convertido en un problema fundamental en numerosos países, el incremento de la población mundial, la industrialización y la variación en las temperaturas del calentamiento global provocan un aumento de las sequías, tormentas e inundaciones en todo el mundo (United Nations, 2017). Por tanto, los problemas de escasez de agua aparecen en todo el mundo (Salek, Moghaddam, & Naserian, 2018). Es por ello con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS-6), los estados miembros de la ONU declararon su aspiración por el acceso universal al agua gestionada de forma segura, reconociendo que esto es fundamental para la salud humana, el bienestar, el desarrollo socioeconómico y la equidad de género (ONU,

2017). Por medio del apoyo de grupos de expertos, la ONU precisó el agua gestionada de forma segura como un suministro continuo de agua no contaminada asignada directamente a los hogares en todo el mundo (Humphrey et al., 2020).

A nivel mundial, se han propuesto diferentes estrategias para disminuir el déficit de agua, para determinar en la mejora de los sistemas de distribución hidráulica como los sistemas de almacenamiento, distribución y riego, la captación de agua de lluvia, tecnologías de desalinización de agua de mar, gestión del agua y la generación de agua atmosférica (Kyong Kim, Hee Kang, Eom, & Wook Kang, 2019). Una solución sostenible para la condensación de la humedad es el uso de la tecnología de refrigeración termoeléctrica (Joshi et al., 2017). Esto necesita de nuevas fuentes de agua limpia a bajo costo y de tecnologías amigables con el medio ambiente. Uno de esos métodos apropiados para acceder a agua limpia es utilizar el rocío extraído del aire del ambiente; por lo tanto, es necesario incluir una tecnología de generación de agua confiable, limpia y rentable (Engineering Challenges, 2015). La extracción de agua atmosférica es una de esas tecnologías en las que el agua dulce se obtiene del aire ambiente por condensación (Patel, Patel, Mudgal, Panchal, & Sadasivuni, 2020). La recolección de agua atmosférica entra en escena y se vuelve esencial (Jarimi, Powell, & Riffat, 2020). El método habitual de recoger agua atmosférica es poner una malla perpendicular al viento en donde las gotas son empujadas y quedan atrapadas, luego caen por gravedad hacia un depósito. En 1965 en el norte de Chile la Universidad Católica del Norte de Antofagasta inició con las primeras pruebas que fueron exitosas (Gultepe, Tardif, Michaelides, & Cermak, 2007).

Según Bautista-olivas et al. (2017) la condensación de agua es una técnica que puede aprovecharse para mitigar la escasez de agua para consumo humano, por ejemplo Li et al. (2018) indican que la atmósfera de la tierra contiene alrededor de 12. 900 mil millones de toneladas de agua dulce distribuidas por todo el mundo cuya principal característica es su rápida reposición y desde ese entonces hasta la actualidad se han venido buscando incesantemente diferentes formas de obtención de agua atmosférica. La humedad del aire, como una fuente de agua, está prácticamente disponible en todas partes; la capacidad de retención del agua es un factor trascendente para la eficiencia de los sistemas de obtención de agua atmosférica (Ejeian, Entezari, & Wang, 2020). La humedad en el aire es una fuente potencial de una cantidad abundante de agua dulce que es accesible en todas partes y puede cooperar fácilmente con una fuente de energía renovable (energía solar). Sin embargo, el agua atmosférica, que se considera una enorme reserva renovable de agua y

suficiente para solventar las necesidades de todas las personas del planeta (Tu, Wang, Zhang, & Wang, 2018). A partir de 1987, Schemenauer y colaboradores realizaron muchos experimentos siguiendo las ideas anteriores pero a escala más grande, en los desiertos de África Occidental, Sur de Chile y Perú y diversas zonas de medio Oriente con resultados satisfactorios que hasta la actualidad impulsan su implementación y desarrollo en todas partes del mundo (Batisha, 2015).

Bautista-Olivas et al., (2011) hablan de dos formas de captación atmosférica pasiva y activa, la primera se refiere a sistemas que no usan energía para condensar agua, respecto de la forma de captación activa se enmarca en las regiones con condiciones atmosféricas entre 30 y 70 % de humedad relativa lo que señala que el ambiente no contiene suficiente agua para que ocurra la condensación natural, para bajar la temperatura interior y alcanzar el punto de rocío, es indispensable utilizar dispositivos que consuman energía para atraer y condensar las moléculas de agua en la atmósfera.. Similar a esto nos da a conocer Jarimi, Powell, y Riffat, (2020) en su investigación donde hace las comparaciones de las formas de captación de agua atmosférica. Entezari, Ejeian, & Wang, (2019) nos explican que los AWG son una solución prometedora para la escasez de agua en el mundo, puesto que ha demostrado una mayor capacidad para suministrar agua en áreas áridas utilizando energía limpia y barata, sin embargo, los diseños, las estrategias operativas, la compatibilidad medioambiental y el suministro de energía son cuestiones que todavía necesitan una mayor consideración en la fabricación de los AWG.

Bagheri (2018) investigó experimentalmente el rendimiento y las limitaciones de los AWG disponibles comercialmente, para lo cual desarrollaron una nueva configuración experimental y un procedimiento de prueba, siguiendo los estándares ASHRAE y ANSI / AHRI relevantes, para medir la tasa de recolección de agua y la energía eléctrica de entrada de varios AWG de tamaño residencial de diferentes fabricantes, cuyos resultados muestran el rango de la tasa de recolección de agua, la intensidad energética que va desde 1.02 kWh / L para climas húmedos y cálidos a 6.23 kWh / L para climas húmedos y fríos . Wan et al. (2020) hablan sobre la recolección de agua atmosférica utilizando el ciclo de compresión de vapor para recolectarla de la humedad del aire, al respecto, señalan que los componentes del sistema incluyen un evaporador, condensador, compresor, ventilador y varias válvulas de expansión, cabe señalar que el objetivo de su trabajo fue aumentar la eficiencia de un recolector de agua atmosférica existente. Kim et al. (2018) señalan que

los AWG surgen como un medio prometedor para superar la escasez de agua en las regiones áridas, los materiales innovadores y los diseños estructurales permiten que los recolectores de humedad tengan características deseables, como alta absorción de agua, fácil recolección de agua y reciclabilidad a largo plazo, lo que impulsa el rápido desarrollo de los AWG.

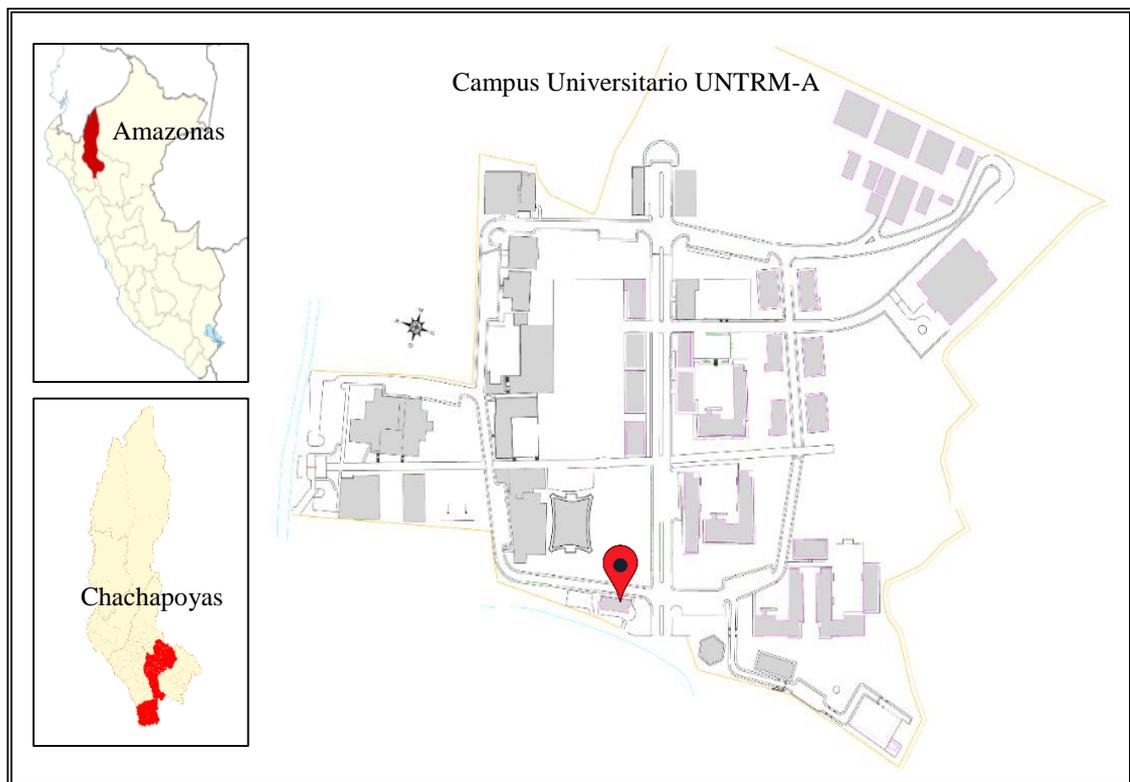
Li et al., (2018) fabricaron racionalmente un absorbente de agua fototérmico híbrido flexible compuesto de sal deliquescente e hidrogel; el agua recolectada podría liberarse fácilmente bajo la luz solar regular a través del efecto fototérmico, y se puede reutilizar directamente sin que se pierda la capacidad, de manera que, es particularmente apto para la producción de agua dulce en áreas remotas. Y Lapotin et al. (2020), desarrollaron y probaron un dispositivo AWG de dos etapas con transporte optimizado, al recuperar el calor latente de condensación de la etapa superior y mantener la diferencia de temperatura requerida entre etapas, el diseño permite una mayor productividad diaria del agua que un dispositivo de una sola etapa sin unidades auxiliares para calefacción o transporte de vapor, en experimentos al aire libre, demostraron un dispositivo de recolección de agua de dos etapas que usa zeolita comercial (AQSOA Z01) y regeneración bajo luz solar natural no concentrada donde se recogió  $0.77 \text{ L} / \text{m}^2 / \text{día}$  de agua, el modelo mostró que al aumentar aún más las temperaturas de la etapa superior mediante modificaciones de diseño, se puede lograr aproximadamente el doble de la productividad diaria de la configuración de una etapa, esta configuración de dispositivo de dos etapas es un enfoque de diseño prometedor para lograr AWG solar térmica de alto rendimiento, escalable y de bajo costo.

Entonces a partir de lo dicho, la investigación se enfocó en evaluar un sistema de cosechador de agua atmosférica, para lo cual se utilizó un generador de agua modelo F20 una capacidad de producir  $20 \text{ L/día}$ , y una capacidad de almacenamiento de  $9 \text{ L}$  teniendo en consideración las condiciones climáticas de Chachapoyas de humedad relativa y temperatura ambiente.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio (Caracterización del área de estudio)

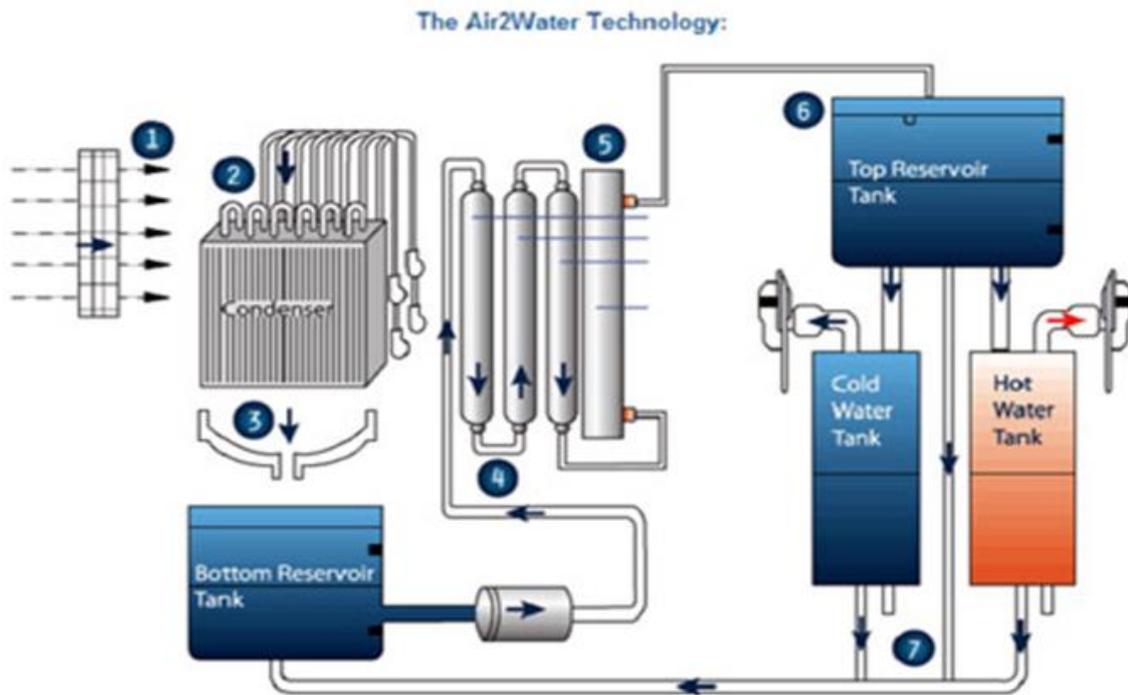
El área de estudio es específicamente la parte superior del edificio del INDES-CES el cual está dentro del campus universitario de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ciudad de Chachapoyas, región Amazonas, el cual tiene las coordenadas ( $6^{\circ}13'58.12''$  S;  $77^{\circ}51'19.30''$  O) con una altitud de 2353 msnm aproximadamente, con temperatura promedio de  $18^{\circ}\text{C}$  y con una humedad relativa de 86 % (SENAMHI - Perú, n.d.). La época lluviosa en los meses de noviembre a abril, con un pico en los meses de enero a marzo. Y la época seca en los meses de mayo a octubre, con una disminución de precipitación en los meses de junio a agosto.



**Figura 1.** Ubicación del Área de Estudio

### 2.2. Sistema de generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica.

El sistema de generación de agua atmosférica se realizó a través de un generador de agua modelo F20 el cual es capaz de generar agua fría y caliente, con una capacidad de producir 20 litros/día, y una capacidad de almacenamiento de 9 litros. El generador de agua atmosférica, toma el agua del medio ambiente y le convierte en agua potable.



**Figura 2.** Sistema de generación de agua atmosférica (AWG). Fuente (Water Solutions Perú, 2012).

Diagrama del Sistema:

1. Filtro de Aire (elimina polvo y otros elementos suspendidos en el Aire)
2. Condensador
3. Reservorio inferior con filtro de Zeolite + Carbón Activado y lámpara UV)
4. Multifiltrado:
  - a. Pre-Filtro de Carbón
  - b. Post-Filtro de Carbón
  - c. Filtro TCR (Minerales)
5. Membrana de Osmosis Inversa
6. Reservorio de Tanque Superior + Lámpara UV
7. Tanques de Agua Fría (4-10 C) y Caliente (75-95 C)



**Figura 3.** Generador de agua atmosférica

**Tabla 1.** Capacidad productiva del sistema en 24 h

CAPACIDAD		Temperatura Ambiente			
		15° - 20°	21° - 25°	26° - 30°	31° - 35°
<b>PRODUCTIVA DIARIA F20</b>					
<b>Humedad Relativa</b>	25% - 35%	2 Litros	3 Litros	4 Litros	5 Litros
	35% - 45%	5 Litros	6 Litros	8 Litros	9 Litros
	45% - 55%	7 Litros	9 Litros	12 Litros	13 Litros
	55% - 65%	13 Litros	15 Litros	18 Litros	19 Litros
	>=65%	15 Litros	20 Litros	21 Litros	22 Litros

**Fuente:** Ficha técnica del generador.

Para su funcionamiento se empleó un sistema fotovoltaico de 800 Wp independiente de la red, constituido por:

- Tres paneles fotovoltaicos de 275 Wp cada uno, del tipo policristalino.



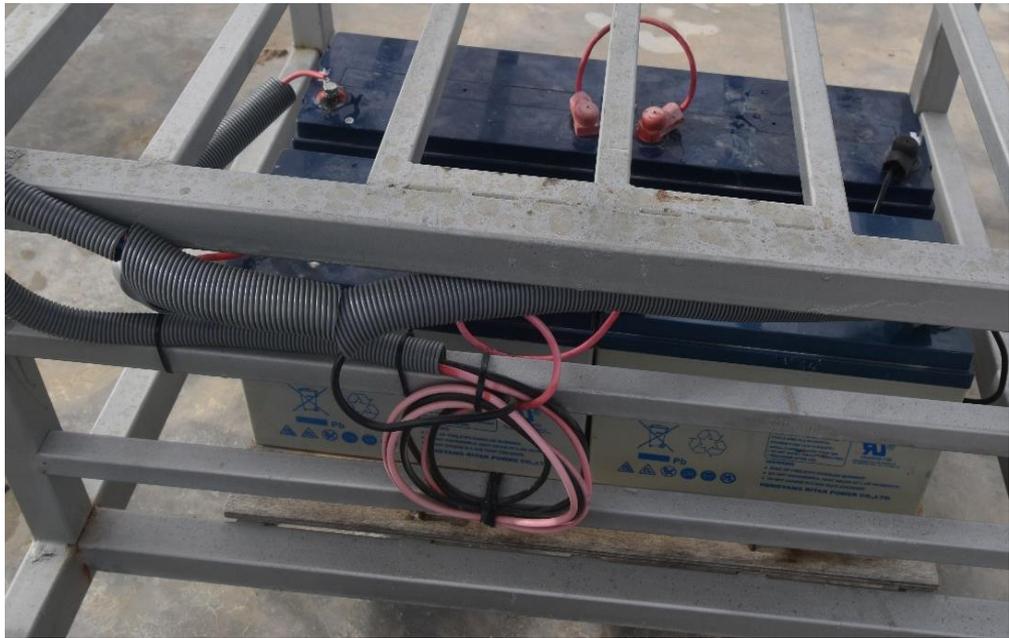
**Figura 4.** Ficha técnica, caja de conexión con cables (terminal positivo y negativo) y superficie de captación de los paneles fotovoltaicos de 275 Wp.

- Un regulador de carga de 50 Amperios; que se encarga de controlar y dirigir la energía que circula entre la batería y los módulos solares fotovoltaicos, es decir evita las sobrecargas y sobredescargas de las baterías cuando están recibiendo energía fotovoltaica de los paneles solares (Auto Solar, 2022).



**Figura 5.** Regulador de carga del sistema fotovoltaico

- Cuatro baterías de 12 V cada una y 100 Amp/h con gelificante de libre mantenimiento, que sirven para almacenar energía producida por el sistema.

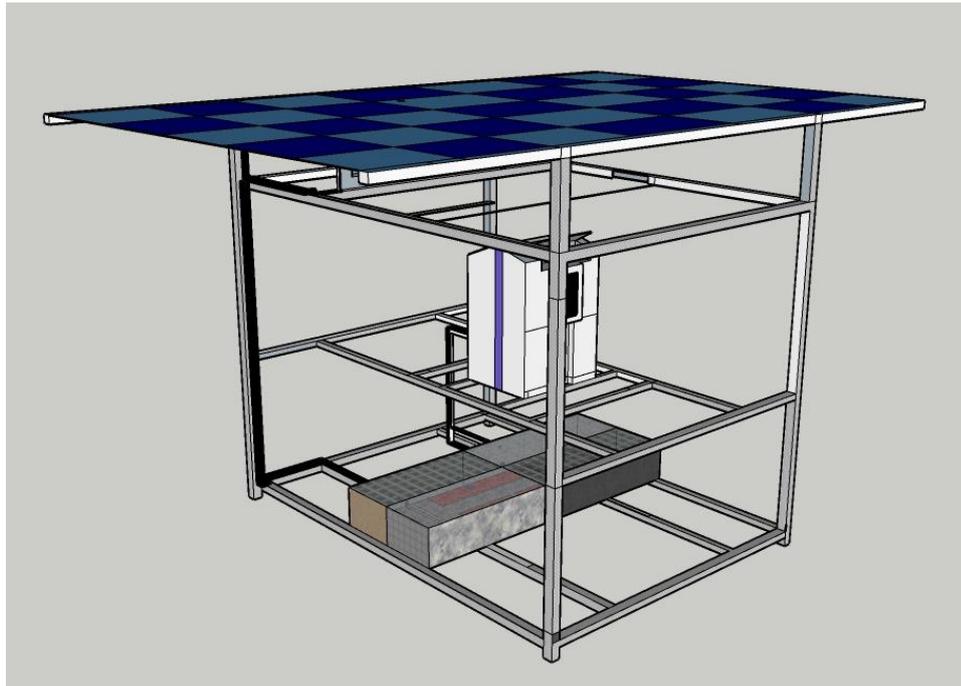


**Figura 6.** Baterías del sistema fotovoltaico

- Un inversor de 800 W, que convierte la energía eléctrica de 12 o 24 V continua a 220 V alterna.



**Figura 7.** Inversor del sistema fotovoltaico



**Figura 8.** Diagrama del sistema generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica.

### **2.3. Evaluación de la cantidad de agua cosecha por el sistema AWG.**

La evaluación de la cantidad de agua cosechada por el sistema AWG de cosechador de agua atmosférica, se evaluó la ayuda de una probeta graduada de 500 ml que midió la cantidad de agua obtenida del 17 al 29 de noviembre del 2021.

### **2.4. Evaluación de parámetros físicos y químicos del agua cosechada.**

La evaluación de parámetros físicos y químicos del agua cosechada se realizó en el laboratorio LABISAG del INDES-CES mediante los siguientes procedimientos técnicos realizados por la Ing. Lily Juárez Contreras los cuales fueron revisados y aprobados por el M. Sc. Jesús Rascón Barrios:

- ✓ Determinar la Alcalinidad del agua por el método Titulación con ácido Clorhídrico.
- ✓ Determinar la dureza total del agua por el método volumétrico del ácido Etilendiaminotetra-acético disódico dihidratado (EDTA).
- ✓ Determinar la concentración de Cloruros en el agua por el método Titulación con Nitrato de plata.

- ✓ Determinar la concentración de Nitrógeno en el agua a través de nitratos, mediante el método reducción de cadmio.
- ✓ Determinar la concentración de nitritos en el agua, mediante el método de diazonización.
- ✓ Determinar la concentración de amonio en el agua utilizando el reactivo de Nessler.
- ✓ Determinar la concentración de fosfato en el agua utilizando el método del ácido ascórbico.
- ✓ Determinar la concentración de DBO<sub>5</sub> en el agua utilizando el método de dilución.

## 2.5. Análisis de la viabilidad económica.

La evaluación de la viabilidad económica del sistema generación de agua atmosférica (AWG) nos permitió verificar si el sistema AWG será lo suficientemente rentable a través del tiempo. Esta evaluación está fundamentada según los siguientes parámetros: el beneficio costo (B/C), valor actual neto (VAN) o valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) representado en la ecuación (1) y (2). Para los costos se calculó los costos reales de cada componente del sistema y los costes de instalación. Para ello, la inversión inicial se distribuirá a lo largo de la vida útil de cada componente (calculada según las directrices del fabricante sobre la vida útil), con el fin de obtener los costes de depreciación. Los costos de mano de obra que conlleva la construcción de las instalaciones se considerarán como costos de oportunidad.

Se considerará que el proyecto es rentable en términos económicos si el VAN conseguido es superior o igual a cero. Ya que los egresos actualizados serán menores que los ingresos actualizados y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Este parámetro simboliza la tasa de descuento que se iguala al valor actual de los ingresos y el valor actual de los egresos, es decir, que provoca que el VAN sea igual a cero (Valdés, et al., 2020).

$$VAN = I + \frac{\sum FCN}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Donde:

I: Inversión inicial monetaria en el presente.

FCN: Flujos de caja.

r: Tasa de interés.

n: Número de períodos.

$$VAN = -I + \frac{\sum FCN}{(1+r)^n} = 0 \quad (2)$$

## **2.6. Análisis del impacto ambiental del sistema generación de agua atmosférica (AWG).**

Este análisis se ha tomado el indicador de la mitigación de carbono, referido en la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> que se dejó de emitir durante la producción de energía fotovoltaica como es propuesto por Rajput, Malvoni, Kumar, Sastry, & Jayakumar, (2020), para ello, se ha elaborado con ajustes de acuerdo al entorno del estudio. Actualmente en Chachapoyas, el suministro del fluido eléctrico es del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional de Perú (SEIN), por lo que se ha tomado como referencia el factor de emisión de 0,4521 kg CO<sub>2</sub>/KWh (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2021). Posteriormente, el cálculo de la mitigación de emisión de CO<sub>2</sub>, se realizó mediante la siguiente ecuación:

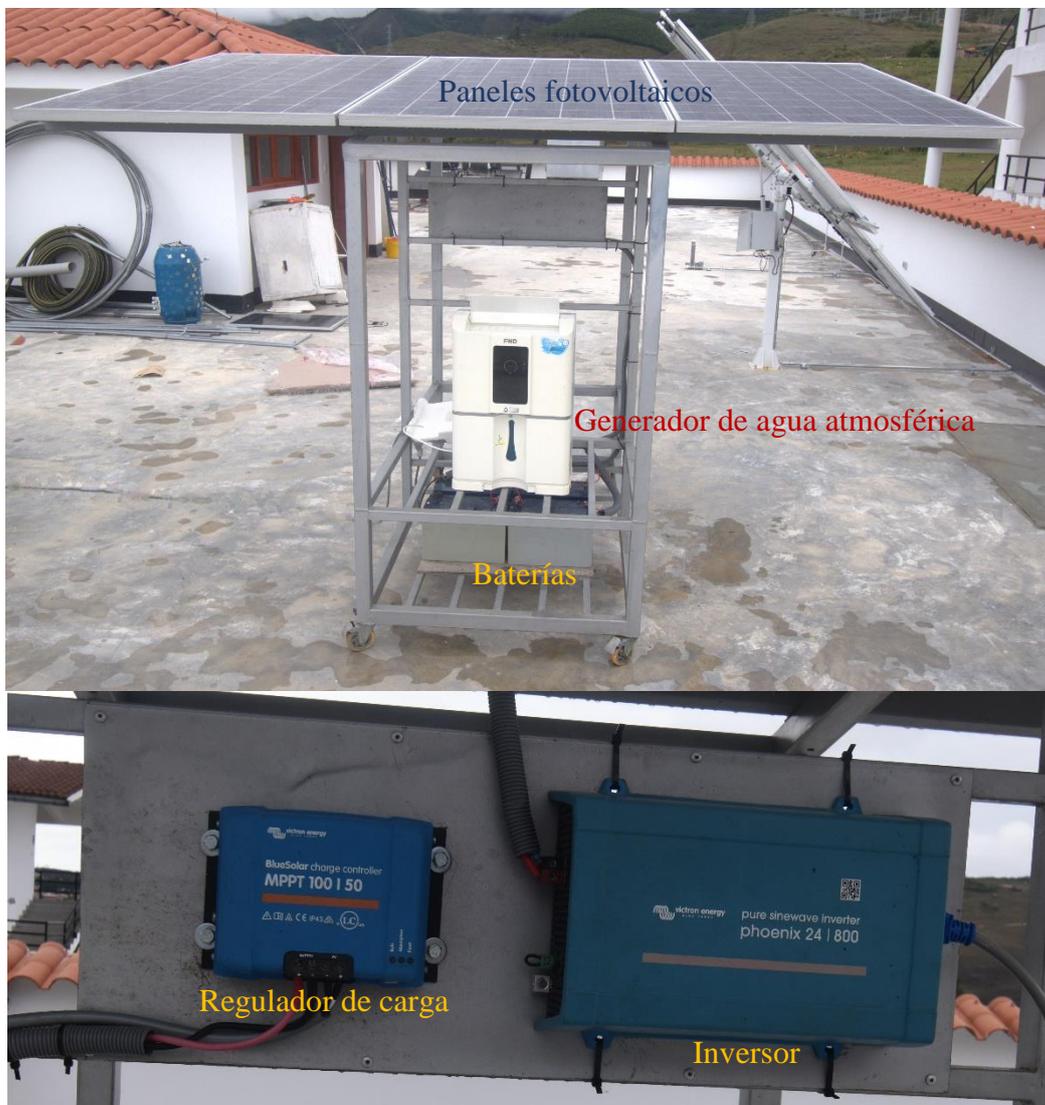
$$CO_2 \text{emisión} = E_{input} \times \frac{1}{1-L_a} \times \frac{1}{1-L_{td}} \times 0.4521 \frac{KgCO_2}{kWh} \quad (3)$$

donde, La y Ltd son las pérdidas durante la transmisión y la distribución de energía eléctrica, respectivamente.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Implementación del sistema de generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica

El sistema instalado e implementado que se evaluó en la investigación, se muestran en la figura 9. En una misma estructura se encuentra el generador de agua atmosférica FND modelo F20, encargado de generar agua para el consumo humano; asimismo para su funcionamiento está impulsado por energía solar fotovoltaica, lo cual está compuesto por 3 paneles fotovoltaicos orientados en la posición norte-sur, un regulador de carga, para almacenar la energía generada cuenta con 4 baterías, y para poder tener energía eléctrica alterna de 220 V cuenta con un inversor.

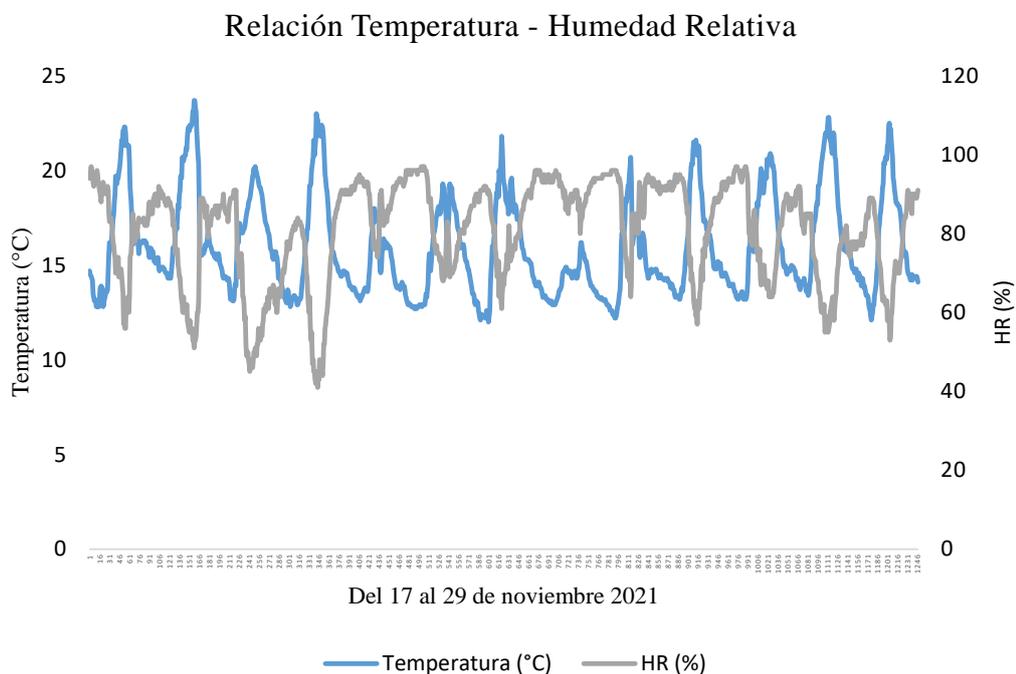


**Figura 9.** Sistema de generación de agua atmosférica (AWG)

### 3.2. Evaluación del rendimiento del generador de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas.

#### 3.2.1. Relación de temperatura con la humedad relativa en Chachapoyas

El nivel de humedad relativa en Chachapoyas, medido por el porcentaje de humedad en la atmosfera varía mucho como se puede observar en la figura 10, el cual oscila entre un 41 % y 97 % de humedad relativa, mientras que la temperatura se tiene un valor mínimo de 12.1 °C y valor máximo de 23.7 °C durante los periodos evaluados (17-29/11/2021).



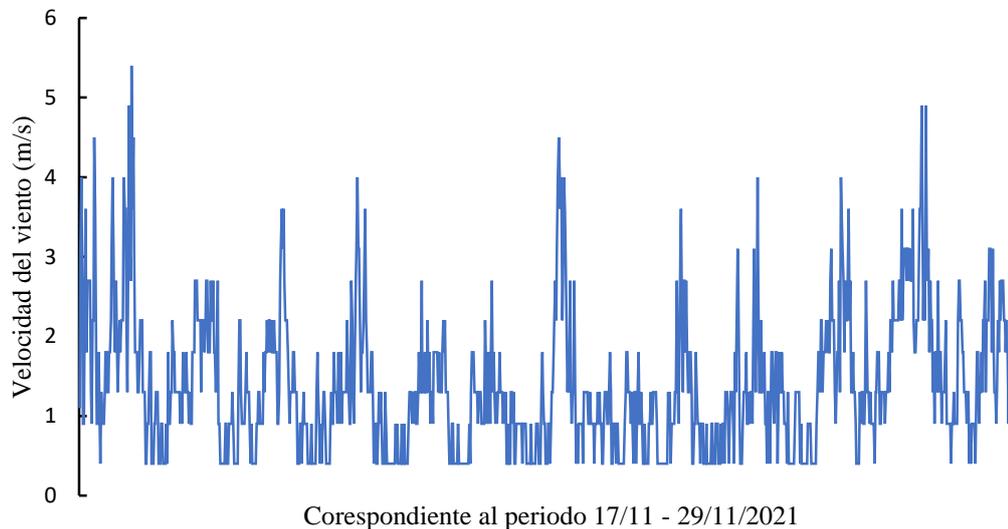
**Figura 10.** Comportamiento de la Temperatura - Humedad Relativa

El pico más alto de humedad fue entre las 3:00 am a 8:30 am y el pico más bajo de 11:45 am a 3:45 pm, dándonos así una humedad relativa promedio del 81 %, y la temperatura promedio fue de 15.98 °C. Se observa los gráficos de la figura 9, que la humedad relativa tiene un comportamiento inverso a la temperatura; es decir a una mayor temperatura menor es el porcentaje de humedad relativa.

#### 3.2.2. Dirección y velocidad del viento

La velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora, por lo que la velocidad promedio del viento por hora en Chachapoyas tiene ligeras variaciones estacionales en el transcurso del año.

El día más ventoso en los días evaluados es el día 28 de noviembre donde se alcanzó en promedio 2.11 m/s, mientras que el día menos ventoso fue el 22 de noviembre el cual está en un promedio de 0.91 m/s, estando por debajo del rango evaluado según la figura 11.



**Figura 11.** Comportamiento de la Velocidad del Viento

La velocidad y dirección del viento es muy variado, donde se tiene que la dirección con mayor velocidad es hacia el oeste con vientos hasta 5.4 m/s y el este con 4.5 m/s.

### **3.2.3. Eficiencia de cosecha de agua del sistema de generación de agua atmosférica (AWG) impulsado por energía fotovoltaica en condiciones climáticas de Chachapoyas)**

El dispositivo AWG extrae la humedad del ambiente (aire) mediante un proceso de condensación y se obtiene agua potable. Por tanto, la producción de agua a partir del aire depende principalmente de las condiciones del ambiente, es decir, la humedad relativa y el nivel de temperatura. La producción de agua tiene una relación directa con un nivel de humedad relativa por encima del límite umbral. Cuanto más húmedo es el aire, es mayor la cantidad de agua producida.

La cantidad de agua cosechada y/o extraída desde el 17 al 29 de noviembre del 2021 es de 14.375 litros de agua, haciendo un promedio de 1.198 litros/día (figura 12) colocando así por debajo del 25 % de humedad relativa según la tabla 1.



**Figura 12.** Agua Cosechada por el Sistema

### 3.2.4. Parámetros físicos y químico del agua cosechada

El procesamiento de la muestra de agua recolectada se realizó en la Laboratorio de Suelos y Aguas (LABISAG) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM, cuyos parámetros se encuentran en la tabla con sus respectivos resultados cada uno. Estos resultados luego fueron comparados con las categorías que se encuentran en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), y ser clasificado.

**Tabla 2.** Resultados de Análisis Físico Químico del agua

PARÁMETROS FÍSICOS Y DE AGREGACIÓN				
PARÁMETROS	U. D.	L. D.	MUESTRA	ECA
pH	pH	<0,001	7.6	6,5 a 8,5
TURBIDEZ	UNT	<0,13	20.70	5
OXÍGENO DISUELTO	mg/L	<0,01	7.01	≥6
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	μS/cm <sup>2</sup>	<0,25	43.05	1500
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	-	44.0	1000
SOLIDOS TOTALES	mg/L	<0,1	51.00	-

PARÁMETROS INORGÁNICOS NO METÁLICOS				
<b>ALCALINIDAD</b>	ppm CaCO <sub>3</sub>	<0,5	23.84	-
<b>CLORUROS</b>	ppm Cl	<0,355	14.33	250
<b>DUREZA</b>	ppm CaCO <sub>3</sub>	<0,5	42.56	500
<b>NITRATOS</b>	ppm NO <sub>3</sub>	<0,1	0.013	50
<b>NITRITOS</b>	ppm NO <sub>2</sub>	<0,001	<0,1	3
<b>FOSFATOS</b>	ppm PO <sub>4</sub>	<0,04	0.609	0.1
<b>AMONIO</b>	ppm NH <sub>4</sub>	<0,02	0.049	-
PARAMETROS MATERIA ORGANICA				
<b>D.B.O.5</b>	mg/L de O <sub>2</sub>	<0,01	4.17	3

**Fuente:** Informe de ensayo N° LAB21—AA-278 (09.12.2021)

De acuerdo al análisis de los resultados y en comparación con Decreto Supremo 004-2017-MINAM en la que, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, y según el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, DS N° 031-2010-SA, el agua obtenida no es apta para el consumo humano, debido a la alta turbidez y a la presencia de Fosfatos, esto se debe al abonado principalmente con urea, de las áreas verdes del campus universitario de la UNTRM.

### 3.3. Análisis de la viabilidad económica.

#### 3.3.1. Costos del sistema AWG impulsado por energía fotovoltaica.

Los costos de un sistema AWG impulsado por energía fotovoltaica se basan en la de instalación, operación y mantenimiento. Para expresar los costos e ingresos se optó por la divisa internacional del dólar (Tipo de cambio: 1 dólar = 3.83 soles, al 16 de enero, 2023), ya que estos sistemas son importados. Los costos de instalación, operación y mantenimiento se describen a continuación:

##### a) Costos del sistema AWG

Los costos para la implementación del sistema AWG impulsado por energía fotovoltaica, se encuentran el generador de agua atmosférica, paneles fotovoltaicos, regulador de carga, inversor, baterías y estructura, en el caso de cables y el servicio de instalación de los sistemas (Tabla 3) estos están incluidos. Todos los costos indicados en la tabla 3, es para la ciudad de

Chachapoyas, sin embargo, estos costos pueden diferir de acuerdo al lugar de instalación.

**Tabla 3.** Costos del sistema AWG

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Generador de agua atmosférica	1.00	1,289.00	1,289.00
Paneles fotovoltaicos	3.00	208.88	626.64
Regulador de carga	1.00	208.88	208.88
Inversor	1.00	104.44	104.44
Baterías	4.00	313.32	1,253.28
Estructura	1.00	287.21	287.21
<b>Total</b>			<b>\$ 3,769.45</b>

#### **b) Costos de operación y mantenimiento de los sistemas AWG**

Los costos de operación se encuentra la limpieza de la superficie de los módulos solares con agua, pero esto puede realizarlo el usuario lo cual no se requiere de conocimiento especializado para hacerlo. Por otro lado, en el costo de mantenimiento se encuentra la revisión eléctrica del sistema y el cambio de los filtros es por ello que se ha estimado un monto de 10 dólares anuales.

#### **3.3.2. Beneficio costo**

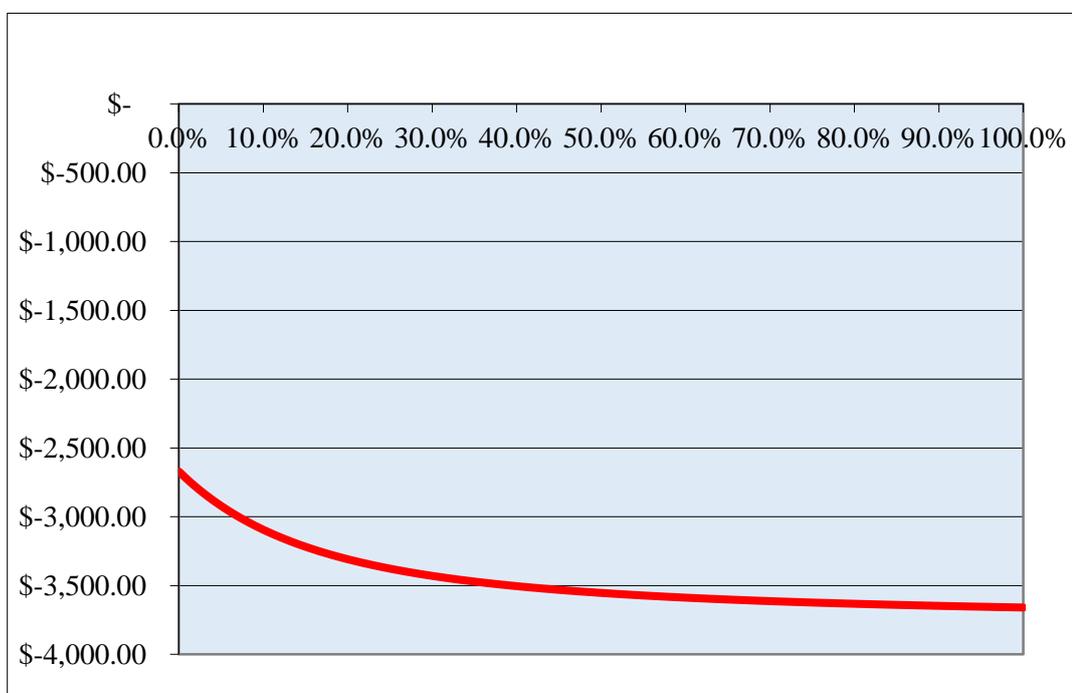
En la tabla 4 se evidencia que el sistema de generación de agua atmosférica impulsado por energía fotovoltaica, que con una tasa de interés del 10 %, la relación de beneficio costo de 0.174 dólares; por lo que nos puede decir que por cada dólar que se invierta, se perdería 0.174 dólares, lo cual se puede concluir que con el cálculo de beneficio costo el proyecto no es viable económicamente. Lo cual no nos generaría ningún tipo de ganancias o que el proyecto sea rentable a través de los años.

**Tabla 4.** Relación Beneficio / Costo

<b>Tasa de interés</b>	<b>10.00%</b>
<b>Ingresos</b>	\$ 675.15
<b>Egresos</b>	\$ 3,869.45
<b>Relación B/C</b>	<b>\$ 0.174</b>

### 3.3.3. Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para evaluar el VAN se ha considerado según los costos del sistema, la producción de agua y beneficios monetarios que ofrece el sistema, dicha evaluación se calculó para un periodo de 10 años (tabla 5), en la cual el VAN resulto ser negativo (figura 13), lo que significa que económicamente no es viable realizar la inversión del sistema de cosecha de agua utilizando el sistema de generación de agua atmosférica en las condiciones climáticas de la ciudad de Chachapoyas; lo que además demuestra y confirma con la TIR es de -18 % con un valor negativo.



**Figura 13.** Valor actual neto del sistema AWG

**Tabla 5.** Flujos de caja

<b>Año</b>	<b>Flujo Caja</b>
0	\$ -3,769.45
1	\$ 109.88
2	\$ 109.88
3	\$ 109.88
4	\$ 109.88
5	\$ 109.88
6	\$ 109.88
7	\$ 109.88
8	\$ 109.88
9	\$ 109.88
10	\$ 109.88

### 3.3.4. Análisis del impacto ambiental del sistema generación de agua atmosférica (AWG)

La energía consumida por el sistema es de 9.6 KWh diarios, calculando como referencia el factor de emisión que es de 0,4521 kg CO<sub>2</sub>/KWh (MEF) y según la tabla 6, que utilizando un sistema fotovoltaico se dejaría de emitir 4.34 kg/día, 130.20 kg/mes o 1,548.16 kg/año de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

**Tabla 6.** Mitigación de emisión de CO<sub>2</sub>

Mitigación de CO <sub>2</sub> diario (kg/día)	4.34
Mitigación de CO <sub>2</sub> mensual (kg/día)	130.20
Mitigación de CO <sub>2</sub> anual (kg/día)	1,584.16

#### **IV. DISCUSIÓN**

La captación del agua de la atmosfera ha venido incrementándose en los últimos años, convirtiéndose en una fuente potencial de obtención de agua dulce sobre todo para áreas remotas y áridas donde existe la carencia de agua y electricidad (Wakeel et al., 2016). En esta investigación se utiliza un sistema solar como cosechador de agua atmosférica cuyo proceso se presenta como una alternativa sostenible para aprovechar los recursos naturales, teniendo en consideración principalmente que la atmósfera es una enorme reserva de agua (Wang et al., 2017). En ese sentido, para poder aprovechar esa reserva de agua es importante conocer las variables climáticas, condiciones como: humedad relativa, velocidad y dirección del viento (Mulchandani & Westerhoff, 2020). Y en segundo lugar, buscar tecnologías o unidades de producción eficiente y flexible impulsadas con energías renovables Xie et al. (2020), lo cual es la base de esta investigación.

Entonces en ese sentido la cantidad de agua recolectada está relacionada con las condiciones antes descritas. Rascón et al., (2020) en su trabajo nos dice que hay dos patrones muy marcados relacionados con las épocas lluviosas (noviembre a abril) y secas (mayo a octubre). Sin embargo, esto no es así ya que la temporada de lluvias esta algo atrasada. Kumar et al. (2021) utilizó la tecnología de sorción de agua atmosférica en condiciones de 10 - 40 % de humedad relativa. Pero Lapotin et al. (2020) dice que la recolección de agua atmosférica de los dispositivos aún sigue siendo baja, lo corroboramos en la investigación donde se ha podido observar en el grafico 1 el promedio de humedad relativa nos da un aproximado del 60 % en la ciudad de Chachapoyas por lo que según el cuadro 1 deberíamos de obtener y/o cosechar aproximadamente 13L/día, por lo contrario se obtuvo 1.198 L/día, lo que hace que su disponibilidad sea baja.

Las condiciones climáticas del lugar de instalación del sistema de generación de agua atmosférica, influyen en el rendimiento (Raveesh, Goyal, & Tyagi, 2023) considera un sistema a escala residencial con una capacidad frigorífica nominal de 1,5 kW para generar un mínimo de 20 L/día en condiciones de funcionamiento definidas de 60 % de humedad relativa y 25 °C de temperatura ambiente del aire; también ha realizado un análisis paramétrico para examinar el impacto de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del flujo de aire de entrada en el rendimiento del sistema. En condiciones cálidas y húmedas, el sistema produce más agua con menos consumo de energía. Por ello, en Chachapoyas en donde se fue instalado el sistema AWG con las condiciones

climáticas, en donde la humedad relativa promedio fue del 81%, y con una temperatura promedio de 15.98 °C, el sistema nos debería haber producido alrededor de los 13 L/día; lo cual difieren mucho según los resultados obtenidos que fueron de 1.198 L/día lo cual serían unos 0.045 L/h. (Bagheri, 2018) en su estudio obtuvo resultados promedios, que para climas húmedos y fríos la tasa promedio de recolección de agua estuvo en un rango de 0,05 L/h a 0,65 L/h para climas húmedos y cálidos. Según (Ahmad, Ghenai, Al Bardan, Bourgon, & Shanableh, 2022) concluye que la condición óptima para el funcionamiento del sistema AWG es de 22 °C con una humedad relativa del 63 %, local la humedad relativa y la temperatura del aire de entrada tienen un impacto significativo en las tasas de recolección de agua.

Con respecto a la calidad del agua, ésta depende de factores como, la calidad del aire, el material utilizado para la recolección y/o tecnologías (Raveesh, Goyal, & Tyagi, 2021). Como se pudo observar anteriormente en el cuadro 2 en los resultados emitidos por el LABISAG la presencia de algunos parámetros inorgánicos no metales hace que dicha agua obtenida no es apta para el consumo humano según los parámetros propuestos por el Decreto Supremo 004-2017-MINAM en el que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, y según el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” DS N° 031-2010-SA, por las altas cantidades de fosfatos, amonio y nitratos.

Los sistemas fotovoltaicos como proyectos ambientales son de crucial importancia, porque ayuda a cerrar las brechas de acceso a la energía y al mismo tiempo que reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y, por lo tanto, reduce los efectos negativos del cambio climático. De lo evaluado, los resultados muestran que con esta tecnología evita emitir 1,548.16 kg/año de CO<sub>2</sub>. Este resultado demuestra que durante la generación de electricidad los sistemas fotovoltaicos son amigables con el medio ambiente, lo cual ha sido probado en comparación con otros estudios, como por ejemplo (Ould -Amrouche, Rekioua, & Hamidat, 2010) en su estudio, calculó el ahorro de emisiones de dióxido de carbono. El potencial de mitigación de CO<sub>2</sub> inducido por el uso de sistemas de bombeo fotovoltaicos se estimó mediante un método sencillo. De los cuales ha demostrado que el uso de mil sistemas FV, basados en bombas de 1 kW, evitará la emisión de 4,2 toneladas de CO<sub>2</sub> al año; lo cual demuestra que la difusión de sistemas de agua fotovoltaicos no solo mejora las condiciones de vida en áreas remotas, sino que también es amigable con el medio ambiente.

## V. CONCLUSIONES

- Se instaló e implemento un prototipo de un sistema de generación de agua atmosférica (AWG), compuesto por un generador de agua modelo F20 con una capacidad de producir 20 L/día y 9 L de almacenamiento, impulsado por un sistema fotovoltaico; que consta de tres paneles solares de tipo policristalino de 275 Wp cada uno, un regulador de carga de 50 Amperios, un inversor de 800 W, y de cuatro baterías de 12 V cada uno y 100 Amph con gelificante de libre mantenimiento, los cuales están dentro de una estructura metálica.
- El promedio de humedad relativa en la ciudad de Chachapoyas durante el periodo de estudio fue del 81 %, y la temperatura promedio fue de 15.98 °C; además que la humedad relativa tiene un comportamiento inverso a la temperatura; es decir a una mayor temperatura menor es el porcentaje de humedad relativa. a más temperatura en el ambiente mayor humedad relativa es mayor cantidad de agua producida.
- La cantidad de agua obtenida por el cosechador de agua atmosférica es proporcional a factores como la humedad relativa y la dirección y velocidad del viento, en esta investigación durante los días evaluados se obtuvo un promedio de producción de 1.198 L/día con un acumulado de 14.375 L, lo que hace que su producción del sistema diario sea menor del 25 % de humedad relativa según la tabla 1.
- Para conocer la calidad del agua cosechada se realizó una determinación de parámetros fisicoquímico, luego un análisis, concluyendo que de acuerdo a su calidad no es apta para consumo humano. La comparación se hizo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y según el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” DS N° 031-2010-SA.
- En cuanto a la viabilidad económica, según lo obtenido en la investigación, el sistema AWG impulsado por un sistema fotovoltaico, nos es viable o rentable económicamente, debido que la relación beneficio costo nos da un

valor por menor a 1, en el VAN y TIR los valores son negativos, con lo que se puede decir que no es recomendable utilizar esta tecnología bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas.

- Respecto a la mitigación de la emisión de CO<sub>2</sub>, se ha comprobado que los sistemas fotovoltaicos son amigables con el medio ambiente debido a que se ha estimado en base a la producción de energía, diaria, mensual y anual, que utilizando esta tecnología se puede dejar emitir 4.34 kg/día, 130.20 kg/mes o 1,548.16 kg/año de CO<sub>2</sub>, por lo cual se debe impulsar e implementar políticas gubernamentales para desarrollo tecnológico e innovación para la implementación de los sistemas fotovoltaicos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar las comparaciones de cosecha de agua atmosférica de acuerdo a las estaciones del año.
- Se recomienda ubicar el sistema en un lugar alejado de campos de cultivos entre otros ya que estos al ser fertilizados liberaran moléculas de la sustancia utilizada, la cual puede afectar en los resultados al analizar el agua.
- Colocar el sistema en un lugar estratégico o buscar esos puntos teniendo en consideración los parámetros meteorológicos y/o condiciones climáticas para obtener un mejor aprovechamiento del sistema AWG.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, F. F., Ghenai, C., Al Bardan, M., Bourgon, M., & Shanableh, A. (2022). Performance analysis of atmospheric water generator under hot and humid climate conditions: Drinkable water production and system energy consumption. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100270>
- Al-Duais, H. S., Ismail, M. A., Alcheikh, Z., Awad, M. A. Z., & Al-Obaidi, K. M. (2022). Performance Evaluation of Solar-Powered Atmospheric Water Harvesting Using Different Glazing Materials in the Tropical Built Environment: An Experimental Study. *Energies*, *15*(9), 3026.
- Auto Solar. (2022). *Auto Solar*. Obtenido de <https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-de-carga-caracteristicas-y-tipos>
- Bagheri, F. (2018). Performance investigation of atmospheric water harvesting systems. *Water Resources and Industry*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wri.2018.08.001>
- Raveesh, G., Goyal, R., & Tyagi, S. K. (2023). Parametric analysis of atmospheric water generation system and its viability in Indian cities. *Thermal Science and Engineering Progress*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101682>
- América Latina: la región con más agua, la más castigada por la sed | Internacional | EL PAÍS. (n.d.).
- Bagheri, F. (2018). Performance investigation of atmospheric water harvesting systems. *Water Resources and Industry*, *20*, 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2018.08.001>
- Batisha, A. F. (2015). Feasibility and sustainability of fog harvesting. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, *6*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.01.002>
- Bautista-olivas, A. L., Cruz-bautista, F., Álvarez-chávez, C. R., Zavala-reyna, A. G., Sánchez-landero, L. A., & Alvarado-ibarra, J. (2017). Concentration of heavy metals in condensed atmospheric water vapor at three Mexican localities, *30*(3), 209–220. <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.03.02>

- Bautista-Olivas, A. L., Tovar-Salinas, J. L., Palacios-Velez, O. L., & Mancilla-Villa, O. R. (2011). La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. *Agrociencia*, 45(3), 293–301.
- Ecofluidos ingenieros. (2012). Estudio De La Calidad De Fuentes Utilizadas Para Consumo Humano y Plan De Mitigación Por Contaminación Por Uso Doméstico y Agroquímicos En Apurímac y Cusco. *El Programa Interagencial “Gestión Integral Y Adaptativa de Recursos Ambientales Para Minimizar Vulnerabilidades Al Cambio Climático En Microcuencas Andinas,”* 46. Retrieved from <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Ejeian, M., Entezari, A., & Wang, R. Z. (2020). Solar powered atmospheric water harvesting with enhanced LiCl / MgSO<sub>4</sub> / ACF composite. *Applied Thermal Engineering*, 176(February), 115396. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115396>
- El agua y la energía, una relación muy estrecha - Fundación Aqua. (n.d.).
- El clima en Chachapoyas, el tiempo por mes, temperatura promedio (Perú) - Weather Spark. (n.d.).
- Engineering Challenges. (2015). *Grand Challenges - Provide Access to Clean Water*. Retrieved from <http://www.engineeringchallenges.org/challenges/water.aspx>
- Entezari, A., Ejeian, M., & Wang, R. (2019). Modifying water sorption properties with polymer additives for atmospheric water harvesting applications. *Applied Thermal Engineering*, 161, 114109. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114109>
- Eslami, M., Tajeddini, F., & Etaati, N. (2018). Thermal analysis and optimization of a system for water harvesting from humid air using thermoelectric coolers. *Energy Conversion and Management*, 174(April), 417–429. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.045>
- Feng, A., Akther, N., Duan, X., Peng, S., Onggowarsito, C., Mao, S., ... Kolev, S. D. (2022). Recent Development of Atmospheric Water Harvesting Materials : A Review. *ACS MATERIALS Au*, 2(5), 576–595. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialsau.2c00027>

- Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S., & Cermak, J. (2007). Fog Research : A Review of Past Achievements and Future Perspectives. *Pure and Applied Geophysics*, *164*(6), 1121–1159. <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8419-7>
- Humphrey, J. H., Brown, J., Cumming, O., Evans, B., Howard, G., Kulabako, R. N., ... Wang, E. N. (2020). Comment The potential for atmospheric water harvesting to accelerate household access to safe water. *The Lancet Planetary Health*, *4*(3), e91–e92. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30034-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30034-6)
- Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *15*(2), 253–276. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>
- Joshi, V. P., Joshi, V. S., Kothari, H. A., Mahajan, M. D., Chaudhari, M. B., & Sant, K. D. (2017). Experimental investigations on a portable fresh water generator using a thermoelectric cooler. *Energy Procedia*, *109*(November 2016), 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.085>
- Kim, H., Rao, S. R., Kapustin, E. A., Zhao, L., Yang, S., Yaghi, O. M., & Wang, E. N. (2018). Adsorption-based atmospheric water harvesting device for arid climates. *Nature Communications*, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03162-7>
- Kim, H., Yang, S., Rao, S. R., Narayanan, S., Kapustin, E. A., Furukawa, H., ... Wang, E. N. (2017). Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight. *Science*, *356*((6336)), 430–434.
- Kumar, P. M., Arunthathi, S., Prasanth, S. J., Aswin, T., Antony, A. A., Daniel, D., ... Babu, P. N. (2021). Investigation on a desiccant based solar water recuperator for generating water from atmospheric air. *Materials Today: Proceedings*, 0–3. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.506>
- Kyong Kim, N., Hee Kang, D., Eom, H., & Wook Kang, H. (2019). Biomimetic fog harvesting surface by photo-induced micro-patterning of zinc-oxide silver hierarchical nanostructures. *Applied Surface Science*, *470*(September 2018), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.11.132>
- La relación entre el agua y la energía | Argentina.gob.ar. (n.d.).

- Lapotin, A., Zhong, Y., Zhang, L., Kim, H., Rao, S. R., & Wang, E. N. (2020). Article Dual-Stage Atmospheric Water Harvesting Device for Scalable Solar-Driven Water Production. *Joule*, 5(1), 166–182.  
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.09.008>
- Li, R., Shi, Y., Alsaedi, M., Wu, M., Shi, L., & Wang, P. (2018). Hybrid Hydrogel with High Water Vapor Harvesting Capacity for Deployable Solar-Driven Atmospheric Water Generator. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02852>
- Mendoza-Escamilla, J. A., Hernandez-Rangel, F. J., Cruz-Alcántar, P., Saavedra-Leos, M. Z., Morales-Morales, J., Figueroa-Diaz, R. A., ... Martinez-Lopez, F. J. (2019). A feasibility study on the use of an atmospheric water generator (AWG) for the harvesting of fresh water in a semi-arid region affected by mining pollution. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(16). <https://doi.org/10.3390/app9163278>
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2021). Nota Técnica para el uso del Precio Social del Carbono en la Evaluación Social de Proyectos De Inversión. Retrieved from [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/anexos/anexo3\\_RD006\\_2021EF6301.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo3_RD006_2021EF6301.pdf)
- Mulchandani, A., & Westerhoff, P. (2020). Geospatial Climatic Factors Influence Water Production of Solar Desiccant Driven Atmospheric Water Capture Devices. *Environmental Science Y Technology*, 54(14), 8310–8322.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00534>
- ONU. (2017). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. *Web Page*, p. 1. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/%0Ahttps://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ould -Amrouche, S., Rekioua, D., & Hamidat, A. (2010). Modelling photovoltaic water pumping systems and evaluation of their CO2 emissions mitigation potential. *Applied Energy*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.021>
- Patel, J., Patel, K., Mudgal, A., Panchal, H., & Sadasivuni, K. K. (2020). Experimental investigations of atmospheric water extraction device under different climatic

- conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38(December 2019), 100677. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100677>
- Rajput, P., Malvoni, M., Kumar, N. M., Sastry, O. S., & Jayakumar, A. (2020). Operational performance and degradation influenced life cycle environmental economic metrics of mc-si, a-si and hit photovoltaic arrays in hot semi-arid climates. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3), 1075. <https://doi.org/10.3390/su12031075>
- Rascón, J., Angeles, W. G., & Oliva, M. (2020). Determinación de las épocas lluviosas y secas en la ciudad de Chachapoyas para el periodo de 2014-2018, 20, 15–28.
- Raveesh, G., Goyal, R., & Tyagi, S. K. (2023). Parametric analysis of atmospheric water generation system and its viability in Indian cities. *Thermal Science and Engineering Progress*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101682>
- Raveesh, G., Goyal, R., & Tyagi, S. K. (2021). Advances in atmospheric water generation technologies. *Energy Conversion and Management*, 239, 114226. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114226>
- Salek, F., Moghaddam, A. N., & Naserian, M. M. (2018). Thermodynamic analysis and improvement of a novel solar driven atmospheric water generator. *Energy Conversion and Management*, 161(November 2017), 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.066>
- Tu, Y., Wang, R., Zhang, Y., & Wang, J. (2018). Progress and Expectation of Atmospheric Water Harvesting. *Joule*, 2(8), 1452–1475. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.07.015>
- United Nations, O. (2017). *El Vivir Bien como respuesta a la Crisis Global*. Retrieved from <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- United Nations, O. (2019). Más de 2000 millones de personas no tienen acceso a agua potable ni saneamiento básico | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. *Informe Mundial de La ONU Sobre El Desarrollo de Los Recursos Hídricos*, p. 3. Retrieved from <https://www.un.org/development/desa/es/news/sustainable/new-un-water-development-report.html>

- United Nations, O. (2020). El agua es un prerequisite para todo desarrollo \_ Naciones Unidas.
- Valdés, Rodríguez, M. (2020). Viability study of photovoltaic systems as distributed sources of energy in the city of Arica, Chile. *Informacion Tecnologica*, 31(3), 249–256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>
- Wakeel, M., Chen, B., Hayat, T., Alsaedi, A., & Ahmad, B. (2016). Energy consumption for water use cycles in different countries : A review. *Applied Energy*, 178(19), 868–885. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.114>
- Wan, M., Sun, T., Wan, D., Dai, M., Yu, H., Liu, S., ... Chen, W. (2020). Solar-Powered Nanostructured Biopolymer Hygroscopic Aerogels for Atmospheric Water Harvesting. *Nano Energy*, 105569. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105569>
- Wang, J. Y., Liu, J. Y., Wang, R. Z., & Wang, L. W. (2017). Experimental research of composite solid sorbents for fresh water production driven by solar energy. *Applied Thermal Engineering*, 121, 941–950. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.161>
- Water Solutions Perú. (2012). *Generadores de agua atmosférica*. Retrieved from [http://www.watersolutionsperu.com/agua\\_atmosferica/generadores\\_de\\_agua.aspx](http://www.watersolutionsperu.com/agua_atmosferica/generadores_de_agua.aspx)
- Xie, Z., Peng, Y., Yu, L., Xing, C., Qiu, M., Hu, J., & Zhan, H. (2020). Solar-Inspired Water Purification Based on Emerging 2D Materials : Status and Challenges. *Solar RRL*, 1900400, 1–28. <https://doi.org/10.1002/solr.201900400>