

## Eficiencia del uso de atrapanieblas en el abastecimiento de agua para centro poblado La Palma en Chota-Cajamarca

Efficiency of fog catchers in water supply for the rural settlement of La Palma in Chota-Cajamarca

Dante Hartman Cieza León<sup>1\*</sup>  Carlos Alberto Miranda Cieza<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de Chota. Jr. San Martín N° 860, Chota, Cajamarca, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de Chota. Jr. Santa Rosa N° 983, Chota, Cajamarca, Perú

\*Autor de correspondencia [e-mail: danteciezaleon@gmail.com]

### RESUMEN

El objetivo en este estudio fue determinar la eficiencia de tres tipos de mallas atrapanieblas en la captación de agua a partir de neblinas en La Palma - Chota, ubicada en el distrito de Conchán, región Cajamarca, Perú. Se utilizaron mallas de Raschel, mosquitero (polietileno) y malla electrosoldada, dispuestas en configuraciones rectangulares y cilíndricas, orientadas estratégicamente según la dirección predominante del viento. La colecta de datos se realizó mediante una estación meteorológica semiautomática. Los volúmenes promedio de agua captada con malla rectangular de tipo Raschel, mosquitero y malla electrosoldada, fueron 93.23 L/d, 101.26 L/d y 108.22 L/d, respectivamente, en un área de 6.00 m x 4.00 m siendo la más eficiente que las cilíndricas. Se determinó que 1 m<sup>2</sup> de malla puede captar en promedio entre 1.09 y 1.28 L/m<sup>2</sup>/d en los meses de menor rendimiento (abril – junio). Con estos valores, se estimó que para abastecer una dotación per cápita de 16 L/día, se necesitan entre 12.5 y 14.67 m<sup>2</sup> de malla, en contraste que para una dotación teórica de 38.40 L/día, se requerirían entre 30.00 y 35.23 m<sup>2</sup> de malla. En conclusión, el atrapanieblas de malla Raschel tipo rectangular es el más eficiente para la captación de agua de la neblina en el centro poblado La Palma en Chota-Cajamarca.

*Palabras clave:* colecta de, rural, condiciones climáticas, tecnología sostenible.

### ABSTRACT

The objective of this study was to determine the efficiency of three types of fog-catching meshes in harvesting water from fog in La Palma - Chota, located in the district of Conchán, Cajamarca region, Peru. Raschel mesh, mosquito netting (polyethylene), and electro-welded mesh were used, arranged in rectangular and cylindrical configurations strategically oriented according to the predominant wind direction. Data collection was carried out using a semi-automatic weather station. The average volumes of water collected with rectangular meshes of Raschel type, mosquito netting, and electro-welded mesh were 93.23 L/day, 101.26 L/day, and 108.22 L/day, respectively, over an area of 6.00 m x 4.00 m, proving to be more efficient than cylindrical configurations. It was determined that 1 m<sup>2</sup> of mesh could collect, on

average, between 1.09 and 1.28 L/m<sup>2</sup>/day during the months of lowest yield (April – June). Based on these values, it was estimated that to supply a per capita allocation of 16 L/day, between 12.5 and 14.67 m<sup>2</sup> of mesh would be required, while for a theoretical allocation of 38.40 L/day, between 30.00 and 35.23 m<sup>2</sup> of mesh would be necessary. In conclusion, the rectangular Raschel mesh fog catcher is the most efficient for capturing water from fog in the La Palma population center in Chota-Cajamarca.

*Keywords:* Fog catchers, water collection, rural water supply, climatic conditions, sustainable technology.

## INTRODUCCIÓN

El acceso al agua continúa es uno de los desafíos más urgentes en muchas regiones rurales del mundo, principalmente en países en desarrollo, donde la infraestructura hídrica es limitada y la disponibilidad de recursos es escasa. En Perú, este problema afecta a miles de comunidades, particularmente en las zonas altoandinas, donde la irregularidad en las precipitaciones pluviales y la falta de infraestructura agravan la crisis hídrica y dificultan el acceso a este recurso esencial (González & Torres, 2009). Un claro ejemplo es el Centro Poblado La Palma, en la provincia de Chota-Cajamarca, donde la escasez de agua se presenta durante gran parte del año debido a la falta de infraestructura adecuada para su captación y distribución, así como a la irregularidad en las lluvias y las condiciones geográficas (Briones et al., 2017).

En respuesta a esta situación, la captación de agua de niebla mediante el uso de atrapanieblas ha emergido como una solución innovadora, sostenible y de bajo costo para mitigar del déficit de agua en zonas áridas y semiáridas. Estos dispositivos interceptan las gotas de agua suspendidas en la niebla, utilizando mallas estratégicamente colocadas en áreas con alta presencia de este fenómeno atmosférico (Madariaga, 2017). Esta

tecnología ha sido implementada con éxito en diversas regiones del mundo, tales como Chile, Ecuador y algunas zonas de Perú, permitiendo así una fuente alternativa de agua para el consumo humano, riego agrícola y otros usos domésticos (Cruz Gutiérrez, 2016).

La eficiencia de los atrapanieblas está condicionada por una variedad de factores, tales como el tipo de malla utilizada, el diseño del dispositivo, su orientación respecto a las corrientes de viento y las condiciones climáticas locales. Estudios recientes han demostrado que los atrapanieblas contruidos con malla metálica son más eficientes en la recolección de agua que aquellos fabricados con mallas de polietileno, debido a la mayor durabilidad y capacidad de recolección del material (González & Torres, 2009). En el sector La Palma, se instalaron tres tipologías de mallas (Raschel, mosquitero y metálica electrosoldada) en configuraciones rectangulares y cilíndricas, con el objetivo de evaluar su eficiencia para el abastecimiento de agua (Briones et al., 2017).

A nivel mundial, la captación de agua de niebla ha sido aplicada exitosamente en zonas montañosas y costeras con alta incidencia de niebla, como en las lomas de Atiquipa en Perú y el desierto de

Atacama en Chile (Galarza et al., 2014). Estas experiencias han permitido demostrar la viabilidad de los atrapanieblas como una solución tecnológica para la recolección de agua en áreas con condiciones climáticas similares.

La Palma, ubicada a una altitud de 2,825 ms. n. m, ofrece condiciones climáticas ideales para la implementación de sistemas de atrapanieblas, convirtiéndose en un lugar propicio para este tipo de investigación. En ese contexto, el objetivo en este estudio fue determinar la eficiencia del uso de atrapanieblas para abastecer de agua a la población del Centro Poblado La Palma.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Lugar de estudio**

La investigación se realizó en La Palma-Chota, distrito de Conchán, Chota, Cajamarca, a 2,825 ms. n. m. (762854.98 m E, 9281980.96 m S), donde las lluvias irregulares y la estación seca (junio-octubre) generan estrés hídrico. La zona, caracterizada por neblina frecuente, presenta una topografía montañosa que influye en la formación de niebla de advección y orográfica, dependiendo de la interacción entre aire frío y cálido en las mañanas y el ascenso del aire por las tardes. El clima local presenta temperaturas máximas anuales que oscilan entre 13.8 °C y 21 °C, mientras que las mínimas varían entre 7.8 °C y 11.6 °C. La precipitación anual proyectada es de aproximadamente 1,160.8 mm, concentrada principalmente entre noviembre y abril.

Durante los meses secos (junio a octubre) las precipitaciones disminuyen significativamente, registrando valores

mínimos de 31.5 mm en junio. La humedad relativa promedio, que oscila entre el 83.3 % y 98.1 %, junto con una presión atmosférica estable de 686.10 hPa, característica de la altitud de 2,825 m.s.n.m., favorece las condiciones para la formación de niebla y su aprovechamiento en tecnologías de captación de agua. La dirección predominante del viento a las 18 horas varía entre el norte, noreste y suroeste, con velocidades promedio de 2 a 8 m/s, lo que contribuye a la formación de niebla en la región. Estas condiciones atmosféricas, junto con la topografía del área, destacan el potencial de las tecnologías de atrapanieblas como una alternativa eficiente para mejorar el abastecimiento hídrico en la población, que depende principalmente de sistemas tradicionales y de fuentes limitadas de agua.

### **Diseño estadístico**

El estudio es de tipo descriptivo y comparativo, mediante la observación directa de los investigadores, que tuvo por finalidad evaluar la eficiencia de los atrapanieblas instalados. Se toman en cuenta las características técnicas de tres tipos de materia prima: Raschel, mosquitero (polietileno) y malla metálica, en configuraciones rectangulares y cilíndricas.

### **Colecta de datos**

Las mallas se instalaron en dos configuraciones: rectangulares y cilíndricas, utilizando tres tipos de material: Raschel, mosquitero (polietileno) y malla metálica electrosoldada, lo que resultó en un total de seis sistemas (tres tipos de mallas y dos formas cada una). Las mallas rectangulares tenían dimensiones de 6 metros de largo por 4

metros de ancho, mientras que las cilíndricas fueron configuradas con un perímetro equivalente y una altura de 6 metros para mantener la proporción en el área de captación (ver Figura 1 y 2). El terreno seleccionado para la instalación tenía una inclinación leve, por lo que se realizaron trabajos previos de nivelación manual para asegurar la estabilidad de las estructuras. Además, se eliminó la maleza y se compactó el suelo para evitar desplazamientos o hundimientos posteriores.

La orientación de las mallas fue diseñada estratégicamente, tomando en cuenta la dirección predominante del viento (norte-noreste) en la región, con el objetivo de maximizar la interacción de las mallas con las corrientes de niebla y humedad transportadas por el aire. La instalación se llevó a cabo utilizando postes y marcos de tubos de acero galvanizado, que ofrecieron la resistencia necesaria frente a los fuertes vientos.

En el caso de las mallas rectangulares, estas se tensaron sobre un marco rígido,

utilizando cuerdas de nailon de alta resistencia y tensadores para garantizar que las mallas permanecieran estables. Las mallas cilíndricas, por su parte, fueron fijadas a anillos soldados de acero que formaban la estructura circular, proporcionando rigidez y soporte uniforme. Para recolectar el agua captada por las mallas, se instalaron canaletas fabricadas con tubos de acero galvanizado en la base de las estructuras. Estas canaletas estaban diseñadas para canalizar el agua hacia un pequeño tubo conductor hacia un tanque de almacenamiento. Este diseño no solo facilitó la recolección del agua, sino que también permitió un control preciso del volumen captado.

Los tanques de almacenamiento se vaciaron diariamente a las 6:00 a. m. para registrar el volumen de agua acumulado en las 24 horas anteriores. Este procedimiento se realizó de manera sistemática para garantizar la precisión de los datos y evaluar el rendimiento de cada tipo de malla y configuración.



**Figura 1.** Instalación de mallas atrapanieblas rectangulares y cilíndricas en el centro poblado La Palma en Chota-Cajamarca.



**Figura 2.** Montaje de mallas cilíndricas tensadas y fijadas en el centro poblado La Palma en Chota-Cajamarca.



**Figura 3.** Estación Davis Vantage Pro2® y registro de datos climáticos en el centro poblado La Palma en Chota-Cajamarca.

Se registró mediante una estación hidrometeorológica Davis Vantage Pro2®, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad y dirección del viento (ver Figura 3). Para cada tipo de malla, se analizó el volumen de agua captada por metro cuadrado durante los meses de abril, mayo y junio de 2019.

#### **Análisis de datos**

El análisis de los datos siguió un enfoque secuencial que incluyó una serie de pasos: Paso 1: Se preparó los datos, recopilando la cantidad de agua captada por cada tipo de malla y se organizaron en hojas de cálculo para facilitar su análisis.

Paso 2: Se realizó un análisis descriptivo, calculando las medidas de tendencia central (como el promedio) y de

dispersión para los volúmenes de agua captada por cada malla en diferentes meses.

Paso 3: Se realizó un análisis comparativo entre la eficiencia de los diferentes tipos y diseños de mallas en términos del volumen de agua captada en litros por día y por metro cuadrado. La malla metálica en diseño rectangular resultó ser la más eficiente en los tres meses analizados.

Paso 4: Todo el análisis de datos se realizó utilizando Microsoft Excel como herramienta principal para la gestión y procesamiento de los datos. Las hojas de cálculo incluyeron datos generados directamente por el sistema automatizado de la estación Davis Vantage Pro2®, lo que permitió un manejo preciso y confiable de la información para el estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dotación de agua en el sector La Palma

Se determinó que para 134 habitantes del sector La Palma, se necesita una cantidad de agua de 38.40 L-h/día. No obstante, las observaciones realizadas *in situ* y las consultas directas con los pobladores revelaron que el consumo promedio real es de 16.00 L-h/día.

Volúmenes de agua captados por atrapanieblas tipo rectangulares  
Entre los meses de abril y junio de 2019, se evaluó el desempeño de las mallas atrapanieblas de diseño rectangular en condiciones de mínima precipitación o ausencia de lluvias. En este análisis, se utilizaron las mallas Raschel, mosquitero y metálica, cuyos volúmenes de agua captados se presentan en la Tabla 1. Los resultados muestran que la malla metálica fue la más eficiente, con un promedio de 108.22 L/día, seguida por la malla mosquitero con 101.26 L/día, y finalmente, la malla Raschel con 93.23 L/día.

**Tabla 1.** Volumen (L) de agua captado en mallas atrapanieblas de diseño rectangular en los meses de abril, mayo y junio en el centro poblado la Palma.

Tipo de malla	Abril			Mayo			Junio			Promed (L/día)
	Media (x)	Var. (S <sup>2</sup> )	Desv estándar (S)	Media (X)	Var. (S <sup>2</sup> )	Desv estándar (S)	Media (·)	Var. (S <sup>2</sup> )	Desv estándar (S)	
raschel	89.79	274.89	16.58	97.35	344.07	18.55	92.55	76.24	8.73	93.23
mosquitero	96.58	300.56	17.34	103.36	441.56	21.01	103.85	111.24	10.55	101.26
metálicas	103.45	380.95	19.52	110.77	412.23	20.3	110.44	93.47	9.67	108.22

El análisis estadístico incluyó medidas de tendencia central, como el promedio, y de

dispersión, como la varianza y la desviación estándar, lo que permitió

identificar diferencias en el desempeño de las mallas bajo condiciones similares. La Tabla 2 detalla la eficiencia de las mallas en términos de litros por metro cuadrado

por día ( $L/m^2/d$ ) y calcula la cantidad de mallas necesarias para cubrir la dotación teórica y observada en el sector La Palma.

**Tabla 2.** Eficiencia de los tipos de atrapanieblas rectangular en los meses de abril, mayo y junio en el centro poblado la Palma.

Tipo de malla	Dotación (L/hab.d)		Eficiencia de malla ( $L/m^2/d$ )	Malla para un habitante	Malla para una familia	Malla para la población
	Teórica (calculada)	Observada (in situ)				
raschel	38.40		1.09	35.29	105.86	4728.48
	16.00			14.70	44.11	1970.20
mosquitero	38.40		1.18	32.74	98.23	4387.46
	16.00			13.65	40.93	1828.11
metálica	38.40		1.28	30.25	90.73	4052.76
	16.00			12.60	37.81	1688.65

La malla metálica con diseño rectangular mostró una eficiencia observada de 1.28  $L/m^2/d$ , lo que implica que se requieren 12.60  $m^2$  de malla para cubrir la dotación observada de 16 L/hab/d. De manera similar, se evaluaron mallas atrapanieblas con diseño cilíndrico en los mismos

meses, cuyos resultados se presentan en la Tabla 3. En promedio, la malla metálica fue nuevamente la más eficiente, con 107.41 L/día, seguida por la malla mosquitero con 99.54 L/día, y la malla Raschel con 91.21 L/día

**Tabla 3.** Volumen de agua captado en mallas atrapanieblas de diseño cilíndrico en los meses de abril, mayo y junio en el centro poblado la Palma.

Tipo de malla	Abril			Mayo			Junio			Promedio (L)
	Mediana (x)	Var. (S <sup>2</sup> )	Desv. estándar (S)	Mediana (·)	Var. (S <sup>2</sup> )	Desv. estándar (S)	Mediana (·)	Var. (S <sup>2</sup> )	Desv. estándar (S)	
raschel	86.48	257.66	16.05	93.61	308.85	17.57	93.53	80.04	8.95	91.21
mosquitero	95.44	314.87	17.74	101.51	349.18	18.69	101.67	85.03	9.22	99.54

metálicas	102.9 6	390. 21	19.75	109.3 8	424. 7	20.61	109.8 9	88.9 7	9.43	107.41
-----------	------------	------------	-------	------------	-----------	-------	------------	-----------	------	--------

En la Tabla 4, se presentan los valores calculados y observados para la eficiencia de las mallas cilíndricas y la cantidad

requerida para cubrir las dotaciones estimadas.

**Tabla 4.** Eficiencia de atrapanieblas de diseño cilíndrico en los meses de abril a junio en el centro Poblado la Palma.

Tipo de malla	Dotación (L/hab.d)		Eficiencia de malla (L/m <sup>2</sup> /d)	Malla para un habitante	Malla para una familia	Malla para la población
raschel	Teórica (calculada)	38.40	1.07	36.10	108.31	4837.59
	in situ (observada)	16.00		15.04	45.13	2015.66
mosquitero	Teórica (calculada)	38.40	1.17	32.96	98.87	4416.29
	in situ (observada)	16.00		13.73	41.20	1840.12
metálica	Teórica (calculada)	38.40	1.26	30.63	91.89	4104.59
	in situ (observada)	16.00		12.76	38.29	1710.25

Nota. El indicador de eficiencia calculado permite determinar la cantidad necesaria de malla con diseño cilíndrico para abastecer a la población de estudio.

El estudio determinó que la malla metálica rectangular de 6 m x 4 m fue la más eficiente, captando un promedio de 110.77 litros por día en mayo, superando a las mallas Raschel y mosquitero, que registraron 97.35 litros/día y 103.36 litros/día, respectivamente. Este desempeño se atribuye a su mayor resistencia al viento y capacidad para capturar gotas más finas. Por el contrario, Qadir et al. (2021) observaron que las mallas Raschel presentan menor eficiencia debido a su susceptibilidad a daños por el viento y la acumulación de residuos.

El mes de mayo resultó ser el mes más favorable para la captación de agua, con un promedio de 110.77 L/día, favorecido por condiciones climáticas óptimas, como temperaturas mínimas de hasta 7.8 °C y mayor densidad de niebla. Guerrero y Galleguillos (2013) destacan que el clima desempeña un papel crucial en la eficiencia de los atrapanieblas en regiones montañosas.

En este estudio, el diseño rectangular captó de 15 a 20% más agua que el cilíndrico, Resultados semejantes fueron reportados por Verbrugge y Khan

(2023), al determinar que, los atrapanieblas rectangulares son más efectivos debido a su mayor área de exposición directa al flujo de niebla.

En relación con la superficie necesaria, se determinó que, para una dotación mínima de 16 L/día por habitante se necesitan 11.11 m<sup>2</sup> de malla metálica, y para una dotación teórica de 38.40 L/día, se requieren 26.67 m<sup>2</sup>. Madariaga (2017) en la ciudad de Lima, determinó que se necesitaban entre 10-12 m<sup>2</sup> de malla por persona.

Entre las recomendaciones para mejorar la eficiencia, se sugieren recubrimientos hidrofóbicos para aumentar la velocidad de escurrimiento del agua, sistemas de orientación automática para ajustar las mallas según el viento, y monitoreo meteorológico avanzado (Verbrugghe y Khan, 2023; Guerrero y Galleguillos, 2013). Estas soluciones tecnológicas incrementarían la eficiencia en un 10-15%, mejorando la captación en condiciones cambiantes.

De otro lado, la malla metálica es la más eficiente pero también la más costosa. En contraste la malla Raschel resulta más económica, pero requiere más superficie para alcanzar la eficiencia de la metálica. Esto es clave para la toma de decisiones en proyectos de captación de agua, equilibrando los costos y eficiencia de captación de agua.

## CONCLUSIONES

Los atrapanieblas instalados lograron recolectar un volumen promedio de agua suficiente para cubrir las necesidades básicas de la población. Entre los materiales evaluados, la malla metálica destacó como la más eficiente y duradera, superando a las mallas Raschel y mosquitera.

El diseño rectangular demostró ser el más efectivo, ya que capturó un mayor volumen de agua en comparación con los diseños cilíndricos, gracias a su mayor superficie de exposición al viento y la niebla.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH) por el financiamiento brindado a través del IV Concurso de Proyectos de Investigación Científica. También agradecemos a los colaboradores que apoyaron en la planificación y ejecución del estudio, así como a las autoridades locales por su ayuda en la obtención de información

## Financiamiento

Este proyecto de investigación fue financiado a través del IV Concurso de Proyectos de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística, organizado para docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), con recursos provenientes del canon.

## Conflicto de intereses

No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cereceda, P. (2010). *Agua de niebla: una nueva fuente de agua de riego*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Galarza Contreras, E., Kámiche Zegarra, J., Diderot Julien, J. C., Arias, D., & Oviedo, P. (2014). *Perú: Evaluación de necesidades tecnológicas para el cambio climático*. Universidad del Pacífico, Escuela de Gestión Pública, Departamento Académico

Cieza y Miranda (2024). Eficiencia del uso...

de Economía, Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico

Guerrero Toro, A. M.; Galleguillos Elgueta, C. (2013). La niebla, una fuente alternativa de recursos hídricos en las zonas semiáridas, con sistema de captación altamente eficientes y usos no tradicionales. Santiago de Chile, CORFO.

Qadir, M., Jiménez, G. C., Farnum, R. L., & Trautwein, P. (2021). Research doi:10.1093/ijlct/ctac129.

History and Functional Systems of Fog Water Harvesting. *Front. Water*, 3, 675269. doi: 10.3389/frwa.2021.675269

Verbrugghe, N., & Khan, A. Z. (2023). Water harvesting through fog collectors: A review of conceptual, experimental and operational aspects. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 18(392-403).

### Contribución de autoría

1. Dante Hartman Cieza León: Concepción y elaboración del manuscrito. Análisis de datos.
2. Carlos Alberto Miranda Cieza: Concepción y elaboración del manuscrito. Análisis de datos.

Recibido: 15-11-2024 Aceptado: 21-12-2024 Publicado: 31-12-2024