InvestiGO
Revista Científica Multidisciplinaria
ISSN 2953-6367
http://revistainvestigo.com

Octubre 2026
Vol. 7 No. 21, PP. 197-207
https://doi.org/10.56519/jm0b8w25

ANÁLISIS MULTIVARIADO EXPLORATORIO DEL RENDIMIENTO DE CAPTACIÓN DE NIEBLA Y CALIDAD DEL AGUA EN COTOPAXI

EXPLORATORY MULTIVARIATE ANALYSIS OF FOG-WATER HARVESTING PERFORMANCE AND WATER QUALITY IN COTOPAXI

Marco Antonio Riofrío Guevara[1], Abrahan Rafael Mora Polanco[2], Judith Rosales[3], Wilmer Marcelo Carrera Herrera[4]

{marco.riofrio2916@utc.edu.ec [1], abrahanmora@.tec.mx[2], judith.rosales@uog.edu.gy [3], wilmer.carrera@cotopaxi.gob.ec[4]}

Fecha de recepción: 01/07/2026 / Fecha de aceptación: 08/10/2026 / Fecha de publicación: 14/10/2026

RESUMEN: El presente estudio analizó patrones multivariados entre el rendimiento de captación, variables climáticas y parámetros fisicoquímicos del agua recolectada mediante atrapanieblas en seis localidades de Cotopaxi, Ecuador. Como una alternativa potencial para complementar el abastecimiento hídrico de comunidades rurales altoandinas, se construyó una matriz de seis unidades espaciales y siete variables: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), turbidez, temperatura, altitud, precipitación registrada mediante pluviómetro y captación mediante atrapanieblas. Las variables fueron estandarizadas mediante puntuaciones y analizadas mediante análisis de componentes principales (ACP) en R Studio. Los dos primeros componentes explicaron el 84.4 % de la variabilidad total, con 44.5 % para Dim1 y 39.9 % para Dim2. Apahua y Ninincochapamba se proyectaron en la dirección asociada con mayores valores relativos de captación. La temperatura presentó una orientación similar al vector de captación, mientras que DBO_5, DQO y turbidez mostraron una orientación opuesta. La altitud presentó mayor asociación con Ilitio y Curingue, sin alinearse directamente con la captación. Debido al reducido tamaño muestral y que otros parámetros analizados como: arsénico, plomo, cadmio, boro y cromo presentaron valores por debajo del límite de detección en todos los atrapanieblas, se los omitió por su nula representatividad y de esta manera los patrones identificados se consideraron como exploratorios. Los resultados evidencian que el desempeño de los atrapanieblas responde a una estructura ambiental multivariable y no a un único gradiente geográfico, además se evidencia que la precipitación no está ligada netamente con la captación en los atrapanieblas.

Palabras clave: análisis multivariado; vapor de agua; calidad del agua; condiciones meteorológicas; país andino

[1]Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, https://orcid.org/0009-0002-8916-9656
[2]Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, https://orcid.org/0000-0002-9132-5622
[3]Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, https://orcid.org/0000-0003-4674-565X
[4]Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, https://orcid.org/0009-0002-7617-2020

ABSTRACT: This study analyzed multivariate patterns among fog-water collection performance, environmental variables, and physicochemical characteristics of water harvested using fog collectors at six sites in Cotopaxi, Ecuador, as a potential alternative to supplement water supply in rural Andean communities. A data matrix comprising six spatial units and seven variables was constructed: biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), turbidity, temperature, altitude, rainfall measured using a rain gauge, and fog-water collection yield. The variables were standardized and analyzed through principal component analysis (PCA) in RStudio. The first two principal components explained 84.4% of the total variance, with Dim1 accounting for 44.5% and Dim2 for 39.9%. Apahua and Ninincochapamba were projected in the direction associated with relatively higher collection yields. Temperature showed an orientation similar to the fog-water collection vector, whereas BOD_5, COD, and turbidity exhibited an opposite orientation. Altitude was more strongly associated with Ilitio and Curingue but showed no direct alignment with collection yield. Because of the limited sample size, and because arsenic, lead, cadmium, boron, and chromium concentrations were below the analytical detection limit at all fog-collection sites, these variables were excluded due to their lack of discriminatory contribution. Accordingly, the identified patterns were interpreted as exploratory. The results indicate that fog-collector performance is governed by a multivariable environmental structure rather than by a single geographic gradient. In addition, rainfall was not directly associated with fog-water collection yield, suggesting that conventional precipitation alone does not adequately explain spatial differences in fog-harvesting performance.

Keywords: Multivariate analysis; Water vapour; Water quality; Weather; Andean countries

INTRODUCCIÓN

La interacción compleja entre la variabilidad climática, orografía y transformación de los ecosistemas del páramo condiciona el abastecimiento de agua en regiones altoandinas (1) (2). Estos ecosistemas cumplen una función estratégica en la regulación y provisión del recurso hídrico para comunidades rurales; sin embargo, las modificaciones del uso del suelo y la variabilidad ambiental pueden alterar los mecanismos naturales de almacenamiento y suministro de agua (3) (4).

En este contexto, la captación de agua de niebla constituye una alternativa tecnológica pasiva para incrementar la disponibilidad local de agua en regiones donde la infraestructura hidráulica convencional como sistemas de distribución de agua potable no existe (5) (6). El principio de funcionamiento consiste en interceptar microgotas suspendidas en el aire mediante mallas Rashel de 3 metros de alto por 10 metros de largo, desde las cuales las microgotas de agua son conducidas hacia un sistema de almacenamiento (7) (8). El rendimiento de estos sistemas depende tanto de las características físicas de la superficie colectora como de factores ambientales asociados con el viento, las condiciones atmosféricas y el emplazamiento geográfico(9) (10) (11) (12).

Proyectos en Ecuador han demostrado la posibilidad de utilizar sistemas de captación atmosférica como fuentes complementarias de agua, aunque su desempeño puede presentar diferencias importantes entre regioneso específicamente que su rendimiento no sea el mínimo para abasteces para actividades básicas(5). A esta variabilidad se añade la necesidad de evaluar la calidad del agua obtenida, puesto que la composición química y microbiológica de la precipitación puede modificarse por aerosoles atmosféricos (13), partículas minerales (14), contaminación antropogénica y características de los componentes del propio sistema de recolección (7) (15) (16).

La evaluación integral de estos sistemas genera conjuntos de datos constituidos por variables con diferentes unidades y escalas, por ejemplo, indicadores de materia orgánica, turbidez, temperatura, altitud, precipitación y volúmenes de captación, cuya interpretación individual puede ocultar relaciones estructurales entre los factores analizados. Se aplicó el análisis de componentes principales (ACP) porque el objetivo del estudio fue explorar la correlación entre variables cuantitativas (17) (18) (19), sin establecer aglomerados o clústeres para generar un modelo predictivo. De esta manera, este análisis nos permite transforma las variables originales en componentes ortogonales y mediante RStudio graficar sitios y variables en un espacio de dimensión reducida mediante biplots de fácil interpretación. Su aplicación ha permitido identificar gradientes ambientales y patrones de correlaciones espaciales en estudios de calidad del agua y sistemas hídricos complejos.

En este contexto, Cotopaxi ofrece un escenario apropiado para analizar características ambientales y el funcionamiento de sistemas de captación atmosférica mediante la coexistencia de fuertes gradientes topográficos, condiciones microclimáticas heterogéneas y limitaciones en el abastecimiento de agua en el sector rural. Literatura reciente ha destacado la relevancia de integrar criterios de necesidad hídrica y calidad del agua cuando se evalúan soluciones basadas en niebla en ambientes áridos y altoandinos (20) (21) (22).

Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue caracterizar, mediante un análisis exploratorio de componentes principales, la estructura multivariada existente entre el rendimiento de captación de agua atmosférica, variables ambientales y parámetros de calidad del agua en seis regiones rurales de Cotopaxi.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en la provincia de Cotopaxi, Ecuador en las siguientes localidades rurales: Apahua, Guayama San Pedro, Ninin Cochapamba, Curingue, Mulaló (Ilitio) y San Isidro. Los sitios se encuentran distribuidos en los cantones Pujilí, Sigchos, Saquisilí y Latacunga, dentro de un territorio caracterizado por marcada heterogeneidad topográfica y climática. Las coordenadas se expresaron en el sistema WGS84/UTM zona 17S.

Tabla 1. Localización de los sitios considerados en el análisis multivariado.

Sitio	Cantón	Coordenada X	Coordenada Y
Apahua	Pujilí	731035	9890373
Guayama San Pedro	Sigchos	732795	9906329
Ninin Cochapamba	Saquisilí	749854	9903203
Curingue	Pujilí	738637	9905353
Mulaló (Ilitio)	Latacunga	775103	9919904
San Isidro	Pujilí	752762	9887403

Nota. Sistema de referencia: WGS84/UTM zona 17S.

Del mismo modo en la figura 1 se muestra la distribución geográfica donde se ubicó cada atrapanieblas.

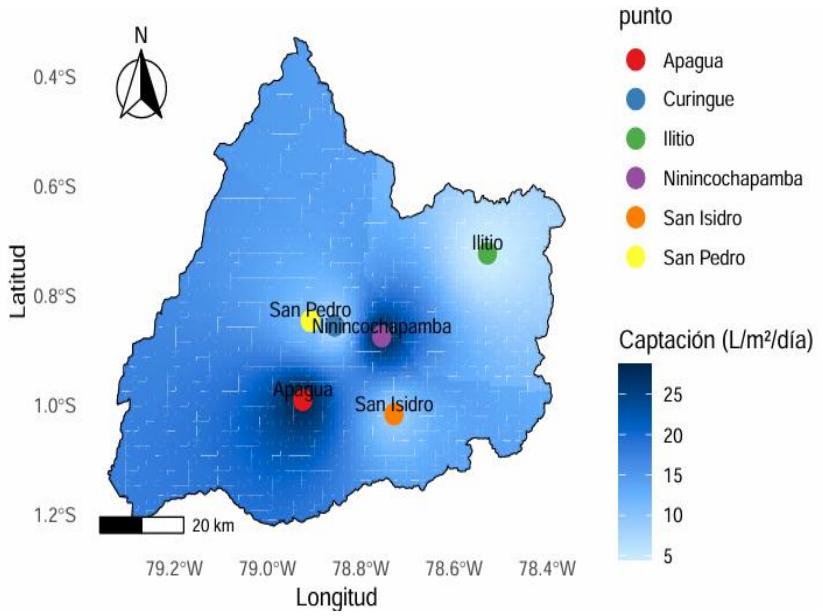


Figura 1. Ubicación de atrapanieblas en la provincia de Cotopaxi.

Fuente: Elaboración propia en RStudio.

Sistemas de captación y variables analizadas

Los sistemas de captación estuvieron constituidos por tres postes verticales sin inclinación, distanciados a 5 metros, se usó una malla Raschel de polipropileno de color negro con tejido denso de 8 cintas planas entrelazadas de 3 metros de altura por 10 metros de ancho, con un coeficiente de sombra de 0.55 y una porosidad superficial de 0.45, conjuntamente con sus canaletas de conducción y el tanque de almacenamiento de agua de 200 litros. Para el análisis de datos de componentes principales se consideraron variables fisicoquímicas, condiciones ambientales, el rendimiento de captación y precipitación en cada punto de estudio. La matriz utilizada en el ACP estuvo formada por seis unidades espaciales n=6 y siete variables p=7: DBO_5, DQO, turbidez, temperatura, altitud, precipitación registrada mediante pluviómetro y captación mediante los tanques de almacenamiento del atrapanieblas.

Es importante resaltar que también se analizaron en todos los sitios de captación elementos potencialmente nocivos como: arsénico, cadmio, plomo, cromo y boro, pero no se incorporaron en el ACP porque los resultados del laboratorio se encontraron por debajo de los límites analíticos de detección reportados en la Tabla 3. Estos datos no fueron relevantes ya que no aportan una varianza cuantificable apropiada para el presente estudio.

Respecto al monitoreo de precipitación y captación se realizó una campaña durante el periodo enero-septiembre de 2023. Los registros de ambas variables se obtuvieron diariamente: la precipitación mediante pluviómetros instalados cercanos a los colectores y la captación mediante medición del volumen recolectado por los tanques de cada atrapanieblas. Para el ACP se utilizó el promedio por localidad, de modo que las filas de la matriz que se usó en RStudio corresponden a seis unidades espaciales y no a observaciones temporales independientes.

Tabla 2. Variables incorporadas al análisis de componentes principales.

Dimensión	Variable	Método Analítico
Calidad del agua	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	SM 5210 D
Calidad del agua	Demanda química de oxígeno (DQO)	SM 5220 C/D
Calidad del agua	Turbidez	SM 2130 B
Ambiental	Temperatura del aire	Termómetro
Geográfica	Altitud	GPS
Hidrometeorológica	Precipitación registrada	Pluviómetro
Rendimiento	Captación de agua	Probetas graduadas

Tabla 3. Información analítica de los elementos excluidos del ACP.

Elemento	Método analítico exacto	LD/LQ (mg/L)	Criterio en el ACP
As	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	< 0.0005	Excluido por que la varianza no es cuantificable
Cd	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	< 0.010	
Pb	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	< 0.001	
Cr(VI)	AAA-PE-A009/ SM3500 Cr B	< 0.010	
B	AAA-PE-A028 / SM 4500-B B, SM 3120 B, EPA 200.7	< 0.010	

Análisis de componentes principales

El tratamiento estadístico se realizó en RStudio. Previamente al ACP, la matriz de datos fue depurada y las siete variables fueron estandarizadas con el propósito de minimizar el efecto de sus diferentes unidades y magnitudes. Posteriormente se ejecutó el análisis de componentes principales mediante el comando: prcomp, sobre la matriz estandarizada. Los autovalores se obtuvieron a partir del cuadrado de las desviaciones estándar de los componentes y se calcularon los porcentajes de varianza individual y acumulada. Para interpretar la estructura multivariada se extrajeron las cargas (loadings) de las variables y las coordenadas factoriales (scores) de las localidades. Además, se calcularon las correlaciones entre las variables originales y los componentes principales, así como sus contribuciones relativas y valores cos^2, utilizados para evaluar la representación de cada variable en el plano factorial.

La interpretación gráfica se efectuó mediante un biplot PC1–PC2 desarrollado con ggplot2 y ggrepel, representando simultáneamente las localidades y los vectores de las variables, cuya dirección y magnitud permitieron examinar asociaciones y patrones multivariados.

Debido a que la matriz estuvo compuesta por seis unidades espaciales frente a siete variables, la matriz no permitió estimar válidamente el índice Kaiser-Meyer-Olkin ni la prueba de esfericidad de Bartlett. En consecuencia, el ACP se utilizó exclusivamente como herramienta exploratoria de reducción dimensional y visualización, y no como procedimiento confirmatorio ni como evidencia de relaciones causales.

RESULTADOS

Varianza explicada y distribución multivariada de los sitios

Los dos primeros componentes principales explicaron conjuntamente 84,4 % de la variabilidad total. PC1 explicó 44,5 % y PC2 explicó 39,9 %, lo que permitió representar en un biplot PC1-PC2 la mayor parte de la estructura multivariada observada, Sin embargo, debido al reducido tamaño de la matriz, esta elevada proporción de varianza explicada no debe interpretarse como evidencia de estabilidad externa del modelo.

Tabla 4. Autovalores y varianza explicada por los componentes principales.

Componente	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
PC1	3.1180	44,54	44,54
PC2	2.7915	39,88	84,42
PC3	0.9072	12.96	97.38
PC4	0.1818	2.6	99.98
PC5	0.0015	0.02	100.00
PC6	0.0000	0.00	100.00

Tabla 5. Cargas (loadings) de las variables en los componentes

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Pluviómetro	0.2607417	-0.34084616	0.71432609	-0.06497946	0.14265097	-0.1994236
Atrapanieblas	-0.4476163	-0.18175671	0.55143361	-0.19875327	-0.09573352	0.1664003
Temperatura	-0.1434568	-0.51641537	-0.37166262	-0.60287918	-0.01701131	-0.4591741
Altitud	0.1640060	0.56175620	0.19377920	-0.07932712	-0.04176427	-0.7324135
DBO5	0.5610846	-0.01606136	-0.04061063	-0.29277890	0.63215761	0.2390275
DQO	0.5606206	-0.05126920	0.03257951	-0.24448185	-0.75344954	0.2057558
Turbidez	0.2346576	-0.51540958	-0.08523544	0.66409927	-0.03380384	-0.2929183

.

Tabla 6. Puntuaciones factoriales (scores) de las localidades

Sitio	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
San Isidro	1.70811404	-2.7703180	-0.3668535	0.2452280	-0.001918425	3.330669e-16
Nininchampamba	-0.22379017	-0.3872621	1.8335757	-0.2647469	-0.002850260	1.249001e-16
Ilitio	1.13089565	2.1943120	0.1776305	0.5750315	-0.016408489	-7.494005e-16
Apagua	-3.28627214	-0.4967281	-0.4286726	0.2075588	-0.016293463	3.885781e-16

Curingue	0.73466837	0.7820658	-0.8142325	-0.6199226	-0.037537652	3.053113e-16
San Pedro	-0.06361575	0.6779303	-0.4014477	-0.1431487	0.075008289	2.77555

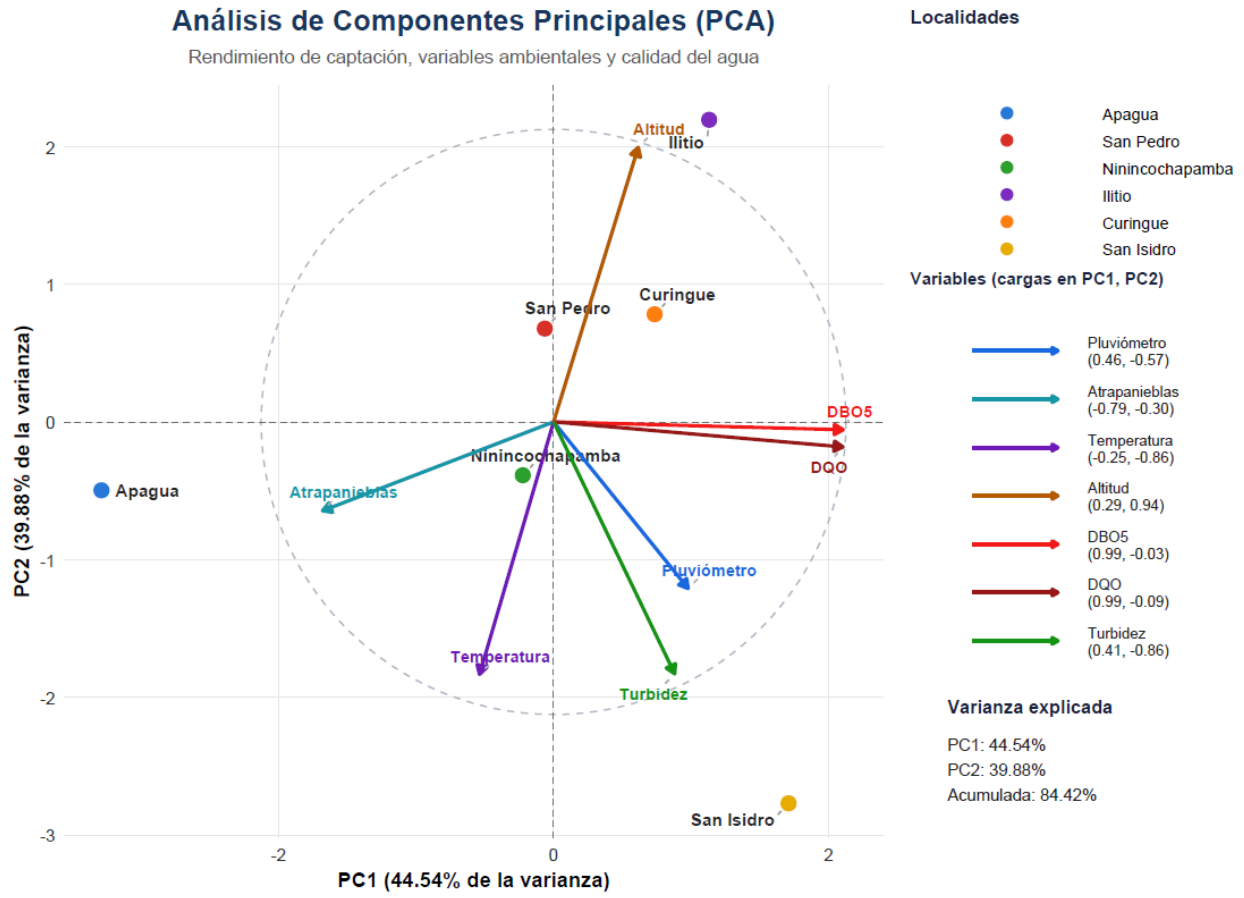


Figura 2. Biplot del análisis de componentes principales aplicado a variables ambientales, de captación y calidad del agua.

Fuente: Elaboración propia en RStudio.

Variables ambientales y rendimiento de captación

El PC1 estuvo dominado por DBO_5 y DQO, que presentaron correlación de 0,99. Ambos vectores mostraron una orientación paralela, indicando una fuerte covariación. En contraste, el rendimiento del atrapanieblas presentó una correlación de −0,79 con PC1, situándose en dirección opuesta a DBO_5 y DQO. Esta configuración estableció el principal gradiente horizontal del análisis y separó a Apagua, proyectada hacia el sector asociado con mayor rendimiento de captación, de las observaciones orientadas hacia mayores valores relativos de los indicadores de carga orgánica u oxidable. Por su parte, el pluviómetro mostró una asociación positiva moderada con PC1: 0,46, aunque su vector no coincidió con el correspondiente al rendimiento de captación.

El PC2 estuvo definido principalmente por la altitud 0,94 y, en sentido opuesto, por la temperatura y turbidez con: −0,86. El pluviómetro también presentó una contribución negativa

sobre este componente −0,57, mientras que el atrapanieblas mostró una asociación comparativamente menor −0,30. La disposición de los vectores reveló una clara oposición entre altitud y temperatura, mientras que temperatura y turbidez mostraron orientaciones similares.

En el plano PC1–PC2, Apahua y Ninincochapamba se ubicaron en la dirección general del vector asociado con la captación. Ilitio y Curingue presentaron una asociación más marcada con la dirección del vector de altitud, pero esta orientación no coincidió directamente con el vector de captación. Este resultado no implica que la elevación carezca de influencia física sobre la formación de niebla; únicamente indica que, dentro de esta matriz multivariante, su gradiente no reprodujo el patrón observado para la captación.

Calidad del agua y gradiente multivariado

DBO_5, DQO y turbidez presentaron vectores orientados en sentido opuesto al vector de captación. Desde el punto de vista multivariante, esta disposición indica una tendencia inversa entre el gradiente asociado con mayor captación y los valores relativos de estos indicadores de calidad dentro de las seis localidades. La interpretación no debe extenderse a una relación causal ni a una demostración de cumplimiento normativo, ya que DBO_5 representa una aproximación a la fracción de materia orgánica susceptible de degradación biológica, DQO refleja la demanda de oxígeno asociada con sustancias oxidables y la turbidez constituye un indicador de partículas suspendidas.

DISCUSIÓN

Control multivariable de la captación de niebla

El patrón analizado es multicausal de la captación de niebla. La eficiencia de intercepción depende de la interacción entre viento, exposición del colector, propiedades de la superficie y microclima, por lo que la mayor captación no necesariamente coincide con el mayor valor de una única variable geográfica (18). En este estudio, la ausencia de alineación directa entre altitud y captación respalda una interpretación en términos de emplazamiento y condiciones locales, pero no demuestra que la altitud carezca de relevancia física.

De manera similar, la orientación de la temperatura hacia el gradiente de mayor captación debe interpretarse como una señal descriptiva, no como evidencia de que temperaturas más altas incrementan el rendimiento o existe mayor condensación. La formación de niebla depende de saturación, punto de rocío, humedad relativa, velocidad del viento y contenido de agua líquida, variables que no estuvieron disponibles con suficiente resolución para incorporarse en el presente ACP.

Precipitación convencional frente a captación atmosférica

La falta de superposición entre los vectores de precipitación y captación sugiere que la lluvia registrada por pluviómetro no representa por sí sola el potencial de cosecha de niebla. La lluvia convencional registra principalmente flujo vertical de precipitación, mientras que los

atrapanieblas interceptan gotas transportadas horizontalmente por el viento. Esta diferencia física explica por qué ambos procesos pueden compartir condiciones meteorológicas favorables sin presentar una relación espacial idéntica. En sistemas altoandinos ecuatorianos se ha reportado que la productividad de los colectores depende fuertemente del emplazamiento y de la exposición a masas de aire húmedo (23).

Calidad del agua en relación con el rendimiento

La orientación opuesta de DBO_5, DQO y turbidez respecto al vector de captación no permite concluir que un mayor volumen recolectado produzca una mejor calidad del agua. Estos indicadores pueden responder a deposición de partículas, acumulación de materia orgánica, condiciones del almacenamiento y limpieza de las superficies de captación. Estudios realizados en Chile han demostrado que el agua de niebla puede presentar características químicas condicionadas por el ambiente atmosférico y por las fuentes locales de contaminación (7) (16), mientras que investigaciones desarrolladas en México también han mostrado la necesidad de evaluar la calidad del agua captada antes de considerar su utilización (13). De manera similar, Domen et al. (8) plantean que la niebla constituye una fuente alternativa de agua, pero que su aprovechamiento requiere considerar simultáneamente cantidad y calidad.

Limitaciones y alcance del análisis

La principal limitación estadística corresponde al reducido tamaño de la matriz. Esta estructura restringe la estabilidad de valores y no permite generalizar los patrones a todas las comunidades de Cotopaxi. El ACP se utilizó únicamente como una herramienta exploratoria para sintetizar la variación observada entre los seis sitios. Futuros estudios deberán incrementar el número de unidades espaciales, incorporar observaciones temporales independientes y variables microclimáticas de mayor resolución, especialmente humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

Otra limitación corresponde a la disponibilidad presupuestaria, que restringió la continuidad del monitoreo y la incorporación de equipos y materiales de mayor durabilidad. Estas restricciones deben considerarse al interpretar la representatividad temporal de los resultados y la posibilidad de extrapolar el comportamiento de los sistemas a periodos climáticos distintos.

CONCLUSIONES

Apahua y Ninincochapamba presentaron perfiles orientados hacia mayores valores relativos de captación. La temperatura mostró una dirección semejante al vector de rendimiento, mientras que la altitud se relacionó principalmente con Ilitio y Curingue y no presentó una orientación coincidente con la captación.

La orientación opuesta de DBO_5, DQO y turbidez respecto al vector de captación identificó un segundo patrón relevante: los perfiles asociados con mayor captación tendieron a ubicarse en sentido contrario al gradiente definido por estos indicadores de calidad. Esta relación debe considerarse una covariación multivariante exploratoria y se sugiere que estudios posteriores

deben ampliar la resolución espacial y temporal del monitoreo e incorporar variables microclimáticas adicionales para determinar con mayor robustez los factores asociados con el desempeño de la captación atmosférica en los Andes ecuatorianos.

La limitación principal del proyecto corresponde a la disponibilidad presupuestaria, la cual restringió la continuidad de las actividades posteriores a la implementación. La ausencia de recursos permanentes para el mantenimiento y monitoreo dificulta evaluar el desempeño del sistema a mediano y largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Balthazar V, Vanacker V, Molina A, Lambin E. Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains. Ecological Indicators. 2015; 48: p. 63-75.
2. Patiño S, Hernández Y, Plata C, Domínguez I, Daza M, Oviedo Ocaña R, et al. Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow buffering. CATENA. 2021; 7: p. 202.
3. Buytaert W, Célleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, et al. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Earth-Science Reviews. 2006; 79(1-2): p. 53-72.
4. Mosquera G, Marín F, Stern M, Bonnesoeur V, Ochoa-Tocachi F, Román D, et al. Progress in understanding the hydrology of high-elevation Andean grasslands under changing land use. Science of The Total Environment. 2022;: p. 150112.
5. Carrera D, Rodríguez- Espinosa F, Toulkeridis T. Potential Solutions for the Water Shortage Using Towers of Fog Collectors in a High Andean Community in Central Ecuador. Sustainability. 2023; 15(12): p. 9237.
6. Ojani C. The promise of fog capture: Ground-touching clouds as a material (im)possibility in Peru. Cultural Anthropology. 2023; 38(2): p. 225-250.
7. Schemenauer R, Cereceda P. The quality of fog water collected for domestic and agricultural use in Chile. J. Appl. Meteorol. 1992;: p. 275-290.
8. Domen J, Stringfellow W, Camarillo M, Gulati S. Fog water as an alternative and sustainable water resource. Clean Technol. Environ. Policy. 2014;: p. 235-249.
9. Schunk C, Trautwein P, Hruschka H, Frost E, Dodson E, Derhem A, et al. Testing Water Yield, Efficiency of Different Meshes and Water Quality with a Novel Fog Collector for High Wind Speeds. Aerosol and Air Quality Research 8. 2018;: p. 240–253.
10. Fernandez D, Torregrosa A, Weiss P, Cohen R, Sorensen D, Kleingartner J, et al. Inter-mesh comparisons of passive fog collectors. En: Wroclaw Poland; 2016
11. Feld S, Spencer B, Bolton S. Improved fog collection using turf reinforcement mats. Journal Sustainable Water Built Environ. 2. 2016;: p. 04016002.
12. Rivera J. Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. Atmos. Res. 102. 2011;: p. 335–342.
13. Jofre-Meléndez R, Cervantes J, Barradas V. CALIDAD DEL AGUA DE LA NIEBLA CAPTADA ARTIFICIALMENTE EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PIXQUIAC, VERACRUZ, MÉXICO: RESULTADOS PRELIMINARES. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 2015;: p. 122-130.

14. Bonnail E, Cunha Lima R, Martínez Turrieta G. Trapping fresh sea breeze in desert? Health status of Camanchaca, Atacama's fog. Environmental Science and Pollution Research. 2018; 25(18): p. 18204–18212.
15. Suarez I, Fernandez J, Ventura I. Calidad del agua captada de la niebla para consumo humano en la comunidad Los Verdes, Chota–Perú. Technological Innovations Journal. 2025; 4(2): p. 20-38.
16. Sträter E, Westbeld A, Klemm O. Pollution in coastal fog at Alto Patache, Northern Chile. Environmental Science and Pollution Research. 2010; 17(9): p. 1567-1573.
17. Olsen RL, Chappell RW, Loftis JC. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis – literature review and Illinois River watershed case study. Water Research. 2012; 46(9): p. 3110-3122.
18. Bengraine K, Marhaba T. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. Journal of Hazardous Materials. 2003; 100(1-3): p. 179-195.
19. Zeinalzadeh K, Rezaei E. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. Journal of Hydrology: Regional Studies. 2017; 13: p. 1-10.
20. Carter J, Verbrugghe N, Lobos F, Del Río C, Albornoz F, Khan A. Unlocking the fog: assessing fog collection potential and need as a complementary water resource in arid urban lands–the Alto Hospicio, Chile case. Frontiers in Environmental Science. 2025.
21. Martinez V. Análisis de la variabilidad de precipitación y eventos climáticos extremos en la Cuenca del Río Tipani, Potosí, Bolivia (2002-2020). Revista Ciencia Tecnologia Sociedad. 2024.
22. Gandhidasan P, Abualhamayel HI. Fog collection as a source of fresh water supply in the Kingdom of Saudi Arabia. Water and Environment Journal. 2007; 21(1): p. 19-25.
23. Carrera Villacrés DV, Rodríguez Espinosa F, Toulkeridis T. Potential solutions for the water shortage using towers of fog collectors in a high Andean community in central Ecuador. Sustainability. 2023; 15(12).