

Aporte hídrico del fenómeno meteorológico lluvia horizontal en el Cerro Trinidad de San Marcos, Tarrazú

Susan Vega Guillén¹, Rodrigo Méndez Solano²

1. Programa de Laboratorios Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica; suvega@uned.ac.cr.
2. Programa de Laboratorios Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica; rmendezs@uned.ac.cr.

Recibido: 02 Junio 2022

Aceptado: 18 Noviembre 2022

RESUMEN

Introducción: Los atrapanieblas son una forma alternativa de captar agua del medio natural para las diferentes necesidades, y permiten valorar el potencial que tiene la lluvia horizontal como parte del ciclo hídrico. **Objetivo:** Cuantificar el aporte hídrico producido por la lluvia horizontal en el cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, de junio a septiembre del 2021. **Métodos:** Mediante la construcción de dos colectores artificiales (de forma rectangular, seis metros cuadrados, seis metros de altura), se capta el aporte de agua generado por el desplazamiento de lluvia horizontal. **Resultados:** Un total de casi 712 litros de captura de agua, en cerca de 1276 horas netas con presencia de neblina, es decir un promedio de 53 días efectivos de probabilidad de lluvia horizontal durante el periodo de estudio. **Conclusiones:** La tendencia de captación agua atmosférica fue de 13 litros por día en una superficie de 12 metros cuadrados de sarán, que en proporción con la cobertura boscosa del cerro Trinidad, equivale a un aporte hídrico de al menos 188,320 litros por hectárea en el área de influencia altitudinal entre los 1700 m.s.n.m y 1900 m.s.n.m en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú.

Palabras clave: Lluvia horizontal, Lluvia oculta, Neblina, Atrapanieblas, Cambio climático, PROLAB

ABSTRACT

Introduction: Climate change and environmental pollution have made access to quality drinking water for human consumption and use increasingly difficult. Fog catchers are an alternative way of capturing water in the natural environment for different needs, and in turn allow quantifying the potential that horizontal rain has as a contribution to the water cycle. **Objective:** To quantify the water supply produced by horizontal rain, in Cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, from July to September 2021. **Methods:** By constructing two artificial collectors (rectangular in shape, six square meters, six meters high), the water contribution generated by horizontal rain displacement is captured. The incidence of altitude and plant structures allow the presence of mist on the Trinidad hill, the placement of fog catchers in its highest parts is an alternative to reduce the water footprint of the community of San Marcos de Tarrazú. **Results:** The results obtained show a total of about 712 liters of water capture, in about 1276 net hours with the presence of fog, that is, an average of 53 effective days of horizontal rain probability during the study period. **Conclusions:** With an affordable trend of atmospheric water uptake of 13 liters per day in a catchment area of 12 square meters of saran, which in proportion to the forest cover of Cerro Trinidad, is equivalent to a water contribution of at least 188,320 liters per hectare in the area altitude influence between 1700 msnm on the Cerro Trinidad in San Marcos de Tarrazú.

Key words: Horizontal Rain, Hidden Rain, Mist, Fog Catcher, Climate chance, PROLAB

Introducción

Los atrapanieblas disminuyen la presión y dependencia hacia las fuentes hídricas subterráneas y superficiales, al ofrecer otra opción de acceso al agua en las zonas donde se construyan, lo cual beneficia la parte natural (microorganismos del suelo y dinámicas en los bosques) y a la comunidad (mejora de suelos para la siembra y otras actividades socioeconómicas).

Dentro de los primeros países en América en utilizar esta tecnología se puede citar a Chile, donde en el desierto de Atacama se utilizaron atrapanieblas para la subsistencia de algunos de los pobladores del lugar, pero también Perú, Ecuador y Bolivia se encuentran a la vanguardia (Hidalgo, 2016; Huertas y Molina, 2016). En Costa Rica la implementación de atrapanieblas aún está en proceso.

Se propone una alternativa para solventar la necesidad de innovación de prácticas más sustentables con en ambiente, empleo de tecnología para la utilización y manejo de los recursos naturales y reproducción de datos actualizados sobre su estado, al generar el registro indicador de la existencia de otras fuentes alternativas de agua y humedad para el suelo además de la precipitación.

El objetivo es cuantificar el aporte hídrico producido por la lluvia horizontal en el cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú, San José, Costa Rica, de junio a septiembre del 2021. Al dar a conocer el volumen que puede aportar la lluvia horizontal en un sistema colector de agua y su relación con la presencia de cobertura vegetal, al ser las hojas el medio natural condensador de la humedad en el ambiente.

Materiales y Métodos

Resumen de los procedimientos por etapas para el desarrollo de la investigación:

Etapa 1: Diseño de atrapanieblas para la evaluación del aporte hídrico de la lluvia horizontal en el Cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú.

Selección de los sitios de muestreo para la colocación de los atrapanieblas en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú: Para la selección de los sitios donde se colocaron los atrapanieblas se siguieron las variables mencionadas en la metodología descrita por Mendoza y Castañeda (2014), por ejemplo, tomar en cuenta para su instalación parámetros como la dirección del viento, que no existan obstáculos para el paso del aire por el sarán o la textura del suelo para un buen soporte. Además, se contó con el medidor atmosférico portátil para recolectar datos de altitud, dirección de viento y condiciones atmosféricas en los sitios. Se utilizó un GPS (Global Position System) para poder determinar la ubicación de los sitios de estudio donde se colocaron los atrapanieblas. El primer punto identificado se encuentra localizado en el Datum WGS 84 de las coordenadas $9,680375^{\circ}$ latitud Norte y $-84,017363^{\circ}$ longitud Oeste. Altitud: 1700 m.s.n.m. La localización del segundo punto de muestreo se encuentra en las coordenadas $9,697781^{\circ}$ latitud Norte y $-84,009763^{\circ}$ longitud Oeste (ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación de los atrapanieblas en el cerro Trinidad, El Rodeo, San Marcos de Tarrazú.
Fuente: Adaptación propia de Google Earth, 2021.

Materiales requeridos para el diseño de los atrapanieblas colocados en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú: En el Cuadro 1 se detallan cuáles fueron los componentes para fabricar un atrapanieblas como los utilizados en el diseño de los atrapanieblas en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú.

CUADRO 1. Materiales utilizados en los atrapanieblas colocados en el cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú

Material	Descripción
Soportes	Tubos de metal galvanizados, forma cuadrada de 3 x 3 pulgadas, de 6 metros de longitud.
Superficie condensadora de agua de lluvia horizontal	Malla sarán de 50% de porosidad, con dimensiones de 3 metros de largo por 2 metros de ancho. Logrando una superficie rectangular de captación total de 6 metros cuadrados de área.
Tubería PVC	3 metros de canoa de PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada, cortada por la mitad para fungir como una canaleta que colecta el agua de lluvia horizontal, que gotea desde el sarán y la direcciona al reservorio. Con tapas a sus costados para cubrir las aberturas. Y una prevista para tubo PVC $\frac{1}{2}$ " para elaborar el sistema conducción del agua colectada hacia los reservorios de metro y medio de longitud.
Reservorios para el agua de lluvia horizontal captada	Se utilizó un tótem con capacidad de 1000 litros y un estañón con capacidad de 208 litros.
Otras herramientas	Hilo tipo nylon. Cable galvanizado delgado de fácil manejo. Amarres de plástico. Serrucho, pegamento para PVC, barreno, palín, pico, cinta métrica, alicates, tijeras, machete, cuerda, escalera.

Etapa 2: Recolección de datos de la captación de agua en los atrapanieblas durante junio, julio, agosto y septiembre, 2021. Una vez colocados en sitio los atrapanieblas, se inició la etapa de colecta de información, se realizó 1 gira mensual de monitoreo y recolección de datos al sitio de estudio. Para calcular la incidencia de cada uno de los elementos de captación y cuantificar el aporte hídrico, se utilizaron los datos registrados

mediante el uso de la estación meteorológica ubicada en la Sede Universitaria UNED en San Marcos, la cual genera reporte de registro de datos de las condiciones atmosféricas cada 5 minutos. Así como también los sistemas colectores en los diseños elaborados de atrapanieblas para la captación de lluvia horizontal. Para el análisis de datos obtenidos durante las visitas de campo y los registrados de las condiciones del tiempo atmosférico durante junio, julio, agosto y septiembre por la estación meteorológica de la Sede UNED San Marcos, se utilizaron los programas de Excel y la aplicación Anaconda Python, para correlacionar las variables de temperatura ambiental, temperatura punto de rocío, humedad relativa, intensidad de lluvia y dirección de viento monitoreadas por la estación meteorológica y generar los gráficos representativos.

Etapa 3: Identificación de la cobertura boscosa del Cerro Trinidad. La caracterización del potencial de aporte hídrico por parte de la cobertura boscosa se llevó a cabo por medio de la cuantificación de la cantidad de lluvia horizontal colectada en 6 metros cuadrados de superficie de captación, la cual se utilizó para evaluar la relación entre la cobertura vegetal del terreno y la distribución de lluvia horizontal en la zona. Se compararon los datos recolectados de los atrapanieblas y el mapa de cobertura boscosa del Cerro Trinidad de acuerdo con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), imagen satelital Sentinel 2 del 6 de marzo del 2021 en las bandas 4, 3 y 2, para generar la clasificación supervisada de las coberturas boscosas y no boscosa, para elaborar mapas temáticos con información sobre la distribución de la lluvia horizontal como fuente de recurso natural de agua aprovechable por la comunidad de San Marcos de Tarrazú.

Se consultaron bases de datos del software gratuito landviewer de la página <https://eos.com/landviewer>. Las mismas son imágenes en tiempo real que se utilizaron para desarrollar las capas de identificación de cobertura boscosa en el programa QGIS (Quantum Geographic Information System) versión 16.3. También se obtuvieron imágenes digitales de las bases de datos ESRI y Atlas 2014.

El programa QGIS versión 16.3, se empleó para la generación de mapas temáticos, con la colaboración del Lic. Rodrigo Méndez especialista en SIG. Se utilizaron las capas con mejor resolución para la zona del Cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú, para representar la relación entre la cobertura forestal y el potencial de aporte hídrico del sitio en estudio. Las capas utilizadas fueron imágenes satelitales ESRI 2021, se utilizaron las capas de curvas de nivel y bases de datos del Atlas 2014.

Para determinar la presencia o no de cobertura vegetal de acuerdo con los Raster de las capas de estudio, se utilizó el comando de clasificación supervisada de QGIS, el cual por medio del complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) permitió clasificar los archivos tipo Raster de las imágenes satelitales mediante la categorización de las regiones de interés (ROI), en este caso: suelo sin cobertura boscosa o suelo con cobertura boscosa, definiendo polígonos con las áreas bajo análisis.

Resultados

Ubicación del sistema atrapanieblas

La investigación se llevó a cabo en el Cerro Trinidad (conocido también como cerro La Cruz), con una altitud mayor a 2000 m.s.n.m, ubicado en El Rodeo de San Marcos de Tarrazú en las coordenadas 9°41'07" latitud Norte y 84°00'47" longitud Oeste (Datum WGS 84), cerca de la Sede Universitaria UNED en la localidad, en la provincia San José, Costa Rica (ver Figura 2). Durante los meses de la época lluviosa (junio, julio, agosto y septiembre), se inició la toma de datos, esto con el fin de procesarlos y generar mapas temáticos que visualicen el aporte hídrico en la zona por parte del Cerro Trinidad. El Atrapanieblas 1 se ubicó a 1700 m.s.n.m de altitud en el sotavento del relieve recibiendo las corrientes de aire y el atrapanieblas 2 se ubicó a una altitud de 1900 m.s.n.m en el lado barlovento del cerro, ambos en posición perpendicular a la dirección del viento.

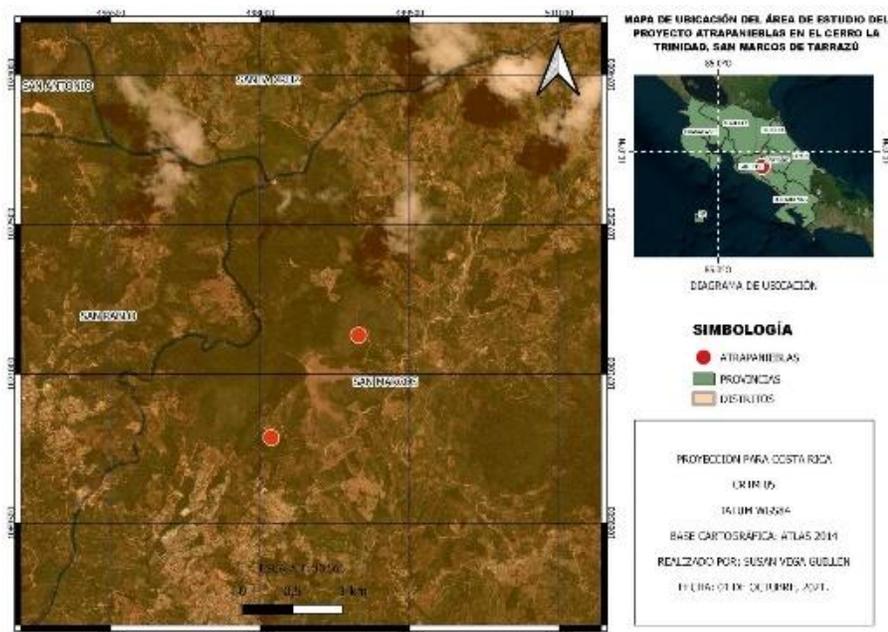


Figura 2. Mapa de localización de la zona de estudio y ubicación de los atrapanieblas en el cerro Trinidad, El Rodeo, San Marcos de Tarrazú

Diseño del sistema atrapanieblas

El diseño de los atrapanieblas colocados en los sitios de muestreo en el cerro Trinidad cuentan con 6 metros de altura, los soportes del sistema son dos tubos galvanizados de metal de 3 pulgadas, y 6 metros cuadrados de la superficie de captación de lluvia horizontal está constituido por un paño rectangular de 3 metros de largo y 2 metros de altura de sarán al 50%, ubicados a 3 metros entre cada poste de soporte. En el atrapanieblas 1 (ver Figura 3) se colocó un reservorio de 1000 litros y en el atrapanieblas 2 (ver Figura 4) un reservorio de 208 litros. Las estructuras atrapanieblas se llevaron prefabricadas al lugar donde se colocaron.



Figura 3. Atrapanieblas 1. Altitud Cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú: 1700 m.s.n.m.



Figura 4. Atrapanieblas 2. Altitud Cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú: 1900 m.s.n.m

Captación de agua en atrapanieblas

El atrapanieblas 1 a 1700 m.s.n.m, captó cerca de 400 litros. En el atrapanieblas 2, a una altitud de 1900 m.s.n.m, se captaron poco más de 312 litros, para un total de 712 litros entre ambos atrapanieblas. La tendencia de captura en los atrapanieblas estuvo similar (ver Figura 5), se puede apreciar que desde el inicio fue en incremento la captación de agua en el sistema de atrapanieblas colocado en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú.

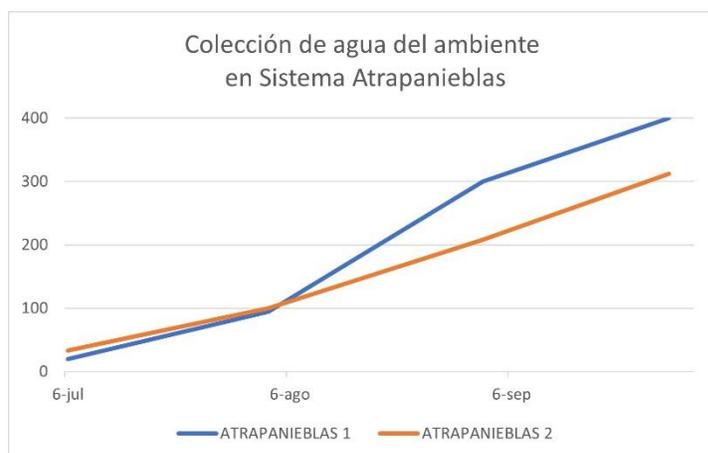


Figura 5. Tendencia de captura de agua en los atrapanieblas en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú, según los datos obtenidos desde la colocación del sistema en junio hasta septiembre del 2021.

Estimación de probabilidad de presencia de neblina y captación de lluvia horizontal durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre del 2021

Datos del mes de junio: Durante junio el promedio de la temperatura fue de 17,35°C, el punto de rocío cerca de 16°C, la humedad relativa 92,61%, y el promedio de la precipitación durante el mes no tuvo incidencia significativa en la captación de agua de los atrapanieblas. La dirección del viento que prevaleció fue oeste con alta tendencia suroeste.

Las condiciones atmosféricas en todo junio incidieron para una alta probabilidad de presencia de neblina, evidenciándose principalmente en la baja diferencia entre la temperatura ambiente (línea roja) y la temperatura de punto rocío (línea azul), como se identifica en la Figura 6, entre mayor cercanía de la diferencia entre

temperaturas (línea negra) de los puntos a 0°C, las temperaturas estuvieron más cercanas, por lo que la probabilidad de presencia de neblina era alta.

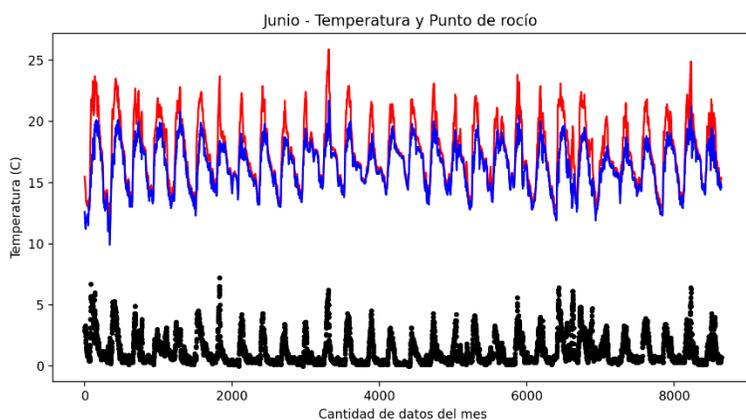


Figura 6. Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de punto de rocío registradas por la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante junio del 2021. La secuencia de registro de datos fue cada 5 minutos durante los 30 días del mes

Lo anterior se respalda al observar la relación entre la dispersión de lluvia vertical y probabilidad de presencia de neblina en la Figura 7, donde se aprecia que entre menor diferencia y bajo valor en las temperaturas, existió una probabilidad alta de presencia de neblina mientras la intensidad de lluvia era suave.

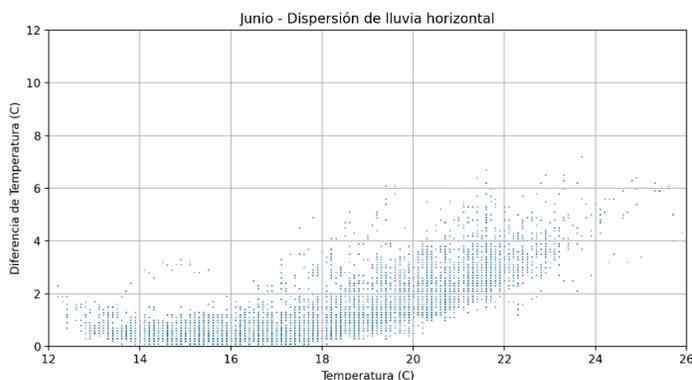
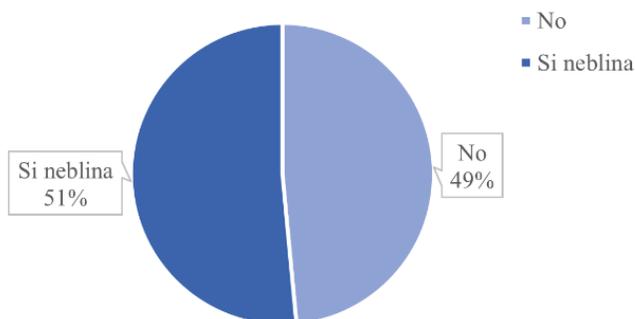


Figura 7. Estimación de probabilidad de presencia de lluvia horizontal en el cerro Trinidad según registros de la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante junio del 2021

El análisis anterior es referente a todo el mes de junio. Desde el día de colocación de los atrapanieblas el 22 de junio del 2021, en el atrapanieblas 1 a 1700 m.s.n.m se colectaron cerca de 38 litros y en el atrapanieblas 2 a 1900 m.s.n.m se colectaron alrededor de 30 litros, en un promedio equivalente a casi 5 días y 111 horas netas con presencia de neblina, para un total de 68 litros de agua de lluvia horizontal colectada en junio (ver Figura 8).

Probabilidad de Neblina Junio



SI NEBLINA			
Total de datos	Minutos	Horas	Días
1334	6670	111,16667	4,6319444

Figura 8. Estimación de probabilidad de presencia de neblina en el cerro Trinidad y estimación del tiempo efectivo de captura de lluvia horizontal en los atrapanieblas durante el periodo de monitoreo en junio 2021

Datos del mes de julio: En julio el promedio de lluvia registrado no tuvo un impacto significativo en la captación de lluvia en los atrapanieblas. Existió al menos 2°C de diferencia entre las temperaturas. La tendencia promedio de temperatura durante el mes fue de 18,03°C y la del punto de rocío promedio los 16°C, a la humedad relativa cerca del 90% y la dirección de viento predominante fue suroeste.

La temperatura ambiente (línea roja) y la temperatura de punto rocío (línea azul), tuvieron una mayor coincidencia en valores cercanos y menores a 15°C, y con el aumento de temperatura también se incrementó la diferencia entre la temperatura ambiente y la del punto de rocío, lo cual se gráfica en la línea negra de la Figura 9, donde se observa una mayor dispersión de los valores.

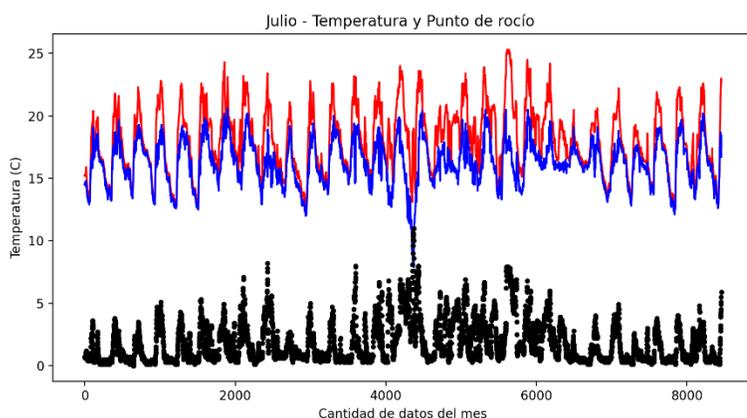


Figura 9. Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de punto de rocío registradas por la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante julio del 2021. La secuencia de registro de datos fue cada 5 minutos durante los 31 días del mes

El gráfico de dispersión de la Figura 10 detalla la probabilidad de presencia de neblina durante el mes de julio, se puede apreciar una distancia mayor entre los puntos, esto demarca una mayor diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura punto rocío, por lo que la probabilidad de presencia de neblina fue menos constante, aunque sí se presentó en bajas temperaturas con diferencias mínimas entre ellas de hasta 2°C.

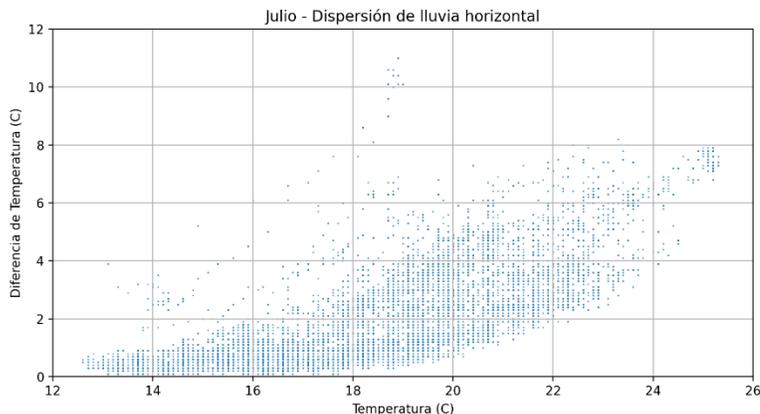


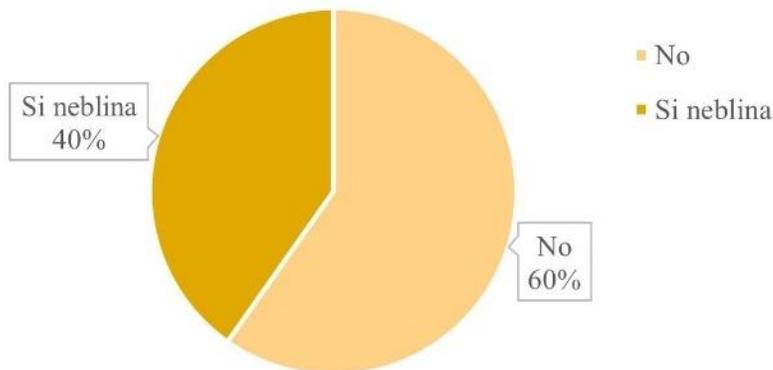
Figura 10. Estimación de probabilidad de presencia de lluvia horizontal en el cerro Trinidad según registros de la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante julio del 2021

En detalle en el atrapanieblas 1 a 1700 m.s.n.m se colectaron cerca de 90 litros y en el atrapanieblas 2 a 1900 m.s.n.m se colectaron alrededor de 70 litros, en un promedio equivalente a 12 días y 300 horas netas con presencia de neblina, para un total de 160 litros de agua de lluvia horizontal colectada en el sistema atrapanieblas durante julio (ver Figura 11).

Datos del mes de agosto: Para agosto los valores promedios de lluvia para este mes tampoco fueron significativos para el total de captación de lluvia horizontal. La dirección del viento sobresaliente fue hacia el suroeste similar a los meses anteriores. El promedio de la temperatura fue de 17,35°C, la media del punto de rocío fue de 16,35°C y la de la humedad relativa redondeó el 94%.

Durante agosto la temperatura ambiental (línea roja) y la del punto de rocío (línea azul) tuvieron una tendencia similar entre ellas, existieron pocos momentos durante el mes donde la diferencia de temperaturas fue más de 5°C, la mayoría del tiempo los valores estuvieron cercanos a 0°C, se detalla en la línea negra de la Figura 12, lo cual indica la poca diferencia entre las temperaturas.

Probabilidad de Neblina Julio



SI NEBLINA

Total de datos	Minutos	Horas	Días
3591	17955	299,25	12,46875

Figura 11. Estimación de probabilidad de presencia de neblina en el cerro Trinidad y estimación del tiempo efectivo de captura de lluvia horizontal en los atrapanieblas durante el periodo de monitoreo en julio 2021

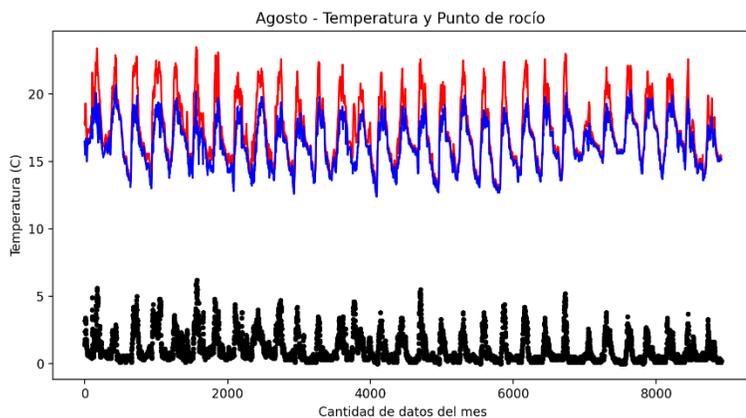


Figura 12. Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de punto de rocío registradas por la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante agosto del 2021. La secuencia de registro de datos fue cada 5 minutos durante los 31 días del mes

En el gráfico de dispersión de la Figura 13 se puntualiza la probabilidad de presencia de neblina durante el mes de agosto, la cual fue más frecuente en bajas temperaturas con diferencias mínimas entre ellas de hasta 2°C, al aumentar esta diferencia y pasar los 20°C en la temperatura la probabilidad de neblina disminuyó.

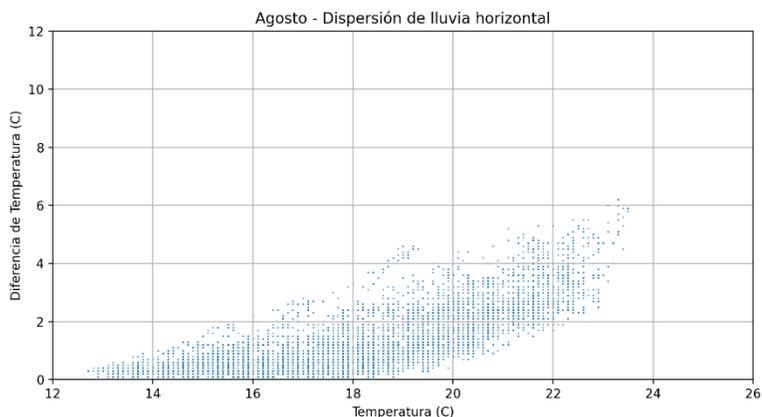
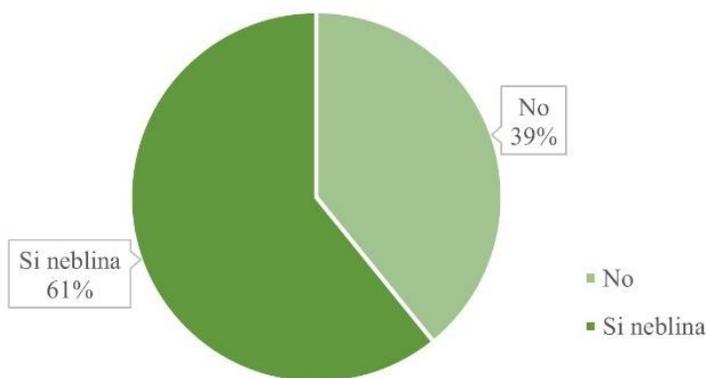


Figura 13. Estimación de probabilidad de presencia de lluvia horizontal en el cerro Trinidad según registros de la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante agosto del 2021

Detalladamente en el atrapanieblas 1 a 1700 m.s.n.m se colectaron cerca de 144 litros y en el Atrapanieblas 2 a 1900 m.s.n.m se colectaron alrededor de 112 litros, en un promedio equivalente a 19 días y 452 horas con alta probabilidad de presencia de neblina, para un total de 256 litros de agua de lluvia horizontal colectada en el sistema atrapanieblas durante agosto (ver Figura 14).

Probabilidad de neblina Agosto



SI NEBLINA			
Total de datos	Minutos	Horas	Días
5424	27120	452	18,833333

Figura 14. Estimación de probabilidad de presencia de neblina en el cerro Trinidad y estimación del tiempo efectivo de captura de lluvia horizontal en los atrapanieblas durante el periodo de monitoreo en agosto 2021

Datos del mes de septiembre: En septiembre el registro de lluvia no se consideró significativo en los valores de colecta de lluvia horizontal. Los promedios de temperatura, punto de rocío y humedad relativa oscilaron entre: 17,4°C, 16°C y 93% respectivamente y la dirección de viento fue oeste con alta predisposición hacia el suroeste. La Figura 15 señala que la temperatura ambiente (línea roja) y la temperatura de punto rocío (línea azul), registraron valores próximos a los 15°C y 20°C. El mayor rango de diferencia entre las temperaturas fue de 5°C. Los valores de los datos de septiembre presentaron en su mayoría 1°C de diferencia entre la temperatura ambiente y la del punto de rocío, lo cual se interpreta en la cercanía de los puntos de la línea negra a los 0°C.

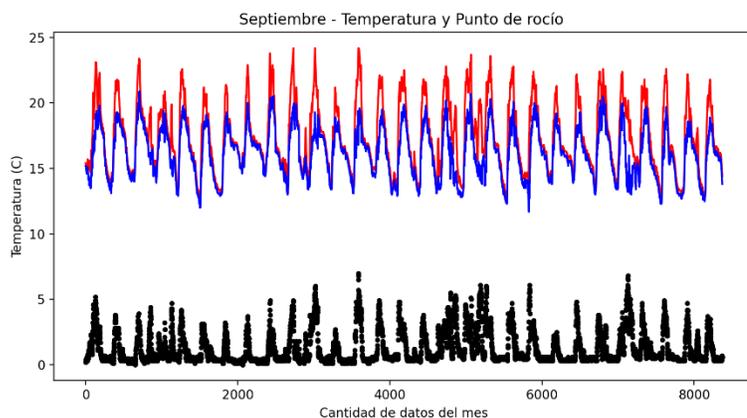


Figura 15. Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de punto de rocío registradas por la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante septiembre del 2021. La secuencia de registro de datos fue cada 5 minutos durante los 30 días del mes

En el gráfico de dispersión de la Figura 16 detalla la probabilidad de presencia de neblina durante el mes de septiembre, la cual fue más frecuente en bajas temperaturas con diferencias mínimas entre ellas de hasta 2°C, se detalla que después de los 18°C y los 4°C de diferencia se registró una dispersión mayor entre los puntos lo cual es indicio de que la probabilidad de neblina disminuyó en esos rangos.

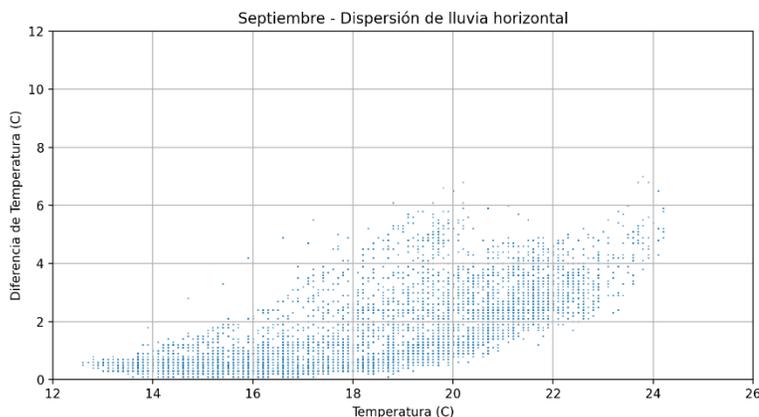
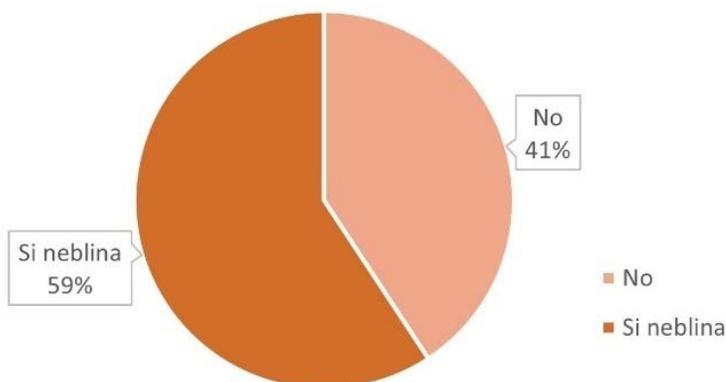


Figura 16. Estimación de probabilidad de presencia de lluvia horizontal en el cerro Trinidad según registros de la estación meteorológica de la Sede UNED en San Marcos de Tarrazú durante septiembre del 2021

En el Atrapanieblas 1 a 1700 m.s.n.m se colectaron cerca de 128 litros y en el Atrapanieblas 2 a 1900 m.s.n.m se colectaron alrededor de 100 litros, en un promedio equivalente a 17 días y 413 horas con alta probabilidad de presencia de neblina, para un total de 228 litros de agua de lluvia horizontal colectada en el sistema atrapanieblas durante septiembre (ver figura 17).

Probabilidad de neblina Septiembre



SI NEBLINA			
Total de datos	Minutos	Horas	Días
4960	24800	413,33333	17,222222

Figura 17. Estimación de probabilidad de presencia de neblina en el cerro Trinidad y estimación del tiempo efectivo de captura de lluvia horizontal en los atrapanieblas durante el periodo de monitoreo en septiembre 2021

Resultado del análisis de la estimación de captura de lluvia horizontal efectiva en los atrapanieblas del cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú durante junio, julio, agosto y septiembre del 2021

Al analizar detalladamente los valores de la temperatura, punto de rocío, humedad relativa y precipitación registrados por la estación meteorológica durante junio, julio, agosto y septiembre, se puede observar con mayor

claridad la probabilidad de tendencia de presencia de neblina para el cerro Trinidad y por ende estimar la captura de lluvia horizontal en el sistema atrapaniebla. Distinguiendo que, a menor diferencia entre los valores de las temperaturas ambientales y el punto de rocío, la probabilidad de neblina es mayor (ver Figura 18).

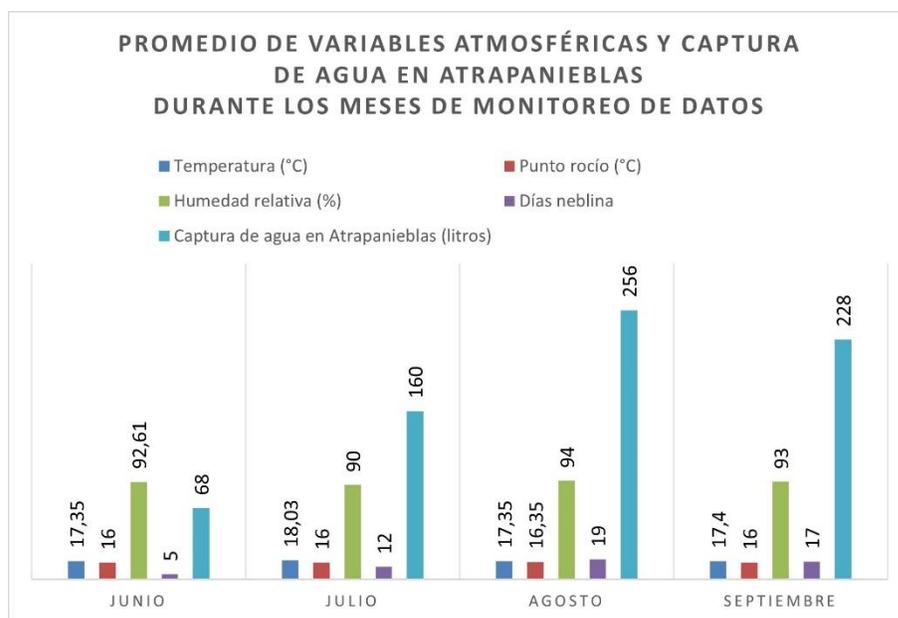


Figura 18. Promedio de las variables de temperatura, punto de rocío, humedad relativa, días neblina, y captura de lluvia horizontal en atrapanieblas en análisis desde el 22 de junio hasta el 30 de septiembre 2021

El mayor índice de días neblina fue en agosto con 19 días, donde también se registró el promedio de humedad relativa más elevado 94%, no obstante, se señala que el mes de septiembre estuvo en segundo lugar con 17 días y una humedad relativa promedio de 93%. Los meses de junio y julio fueron los meses que mostraron menos cantidad de días con alta probabilidad de neblina.

Relación entre la presencia de lluvia horizontal y área de superficie de cobertura vegetal en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú

Para determinar la cobertura boscosa presente en el cerro Trinidad se utilizó una imagen satelital, se utilizaron las imágenes con mejor resolución y más recientes, la Figura 19 muestra una vista general de los tipos de cobertura en la zona de estudio. La imagen tiene una resolución de pixel de 5 metros. Se realizó un polígono sobre el área de estudio para poder definir en detalle las características de las coberturas.



Figura 19. Imagen satelital del sensor Sentinel 2 del cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú. Resolución de pixel 5 metros. El cuadro verde delimita la zona de estudio.

Se detalla en la Figura 20 que, el atrapanieblas 1 se ubica en la curva de nivel con altitudes cercanas a los 1780 m.s.n.m. El atrapanieblas 2 según el mapa temático se colocó en las curvas de nivel con altitud próxima a los 1904 m.s.n.m. La altitud máxima en el terreno es ronda los 2070 m.s.n.m y la mínima de 1595 m.s.n.m. Las curvas de nivel están representadas cada 20 metros. Se demuestra que existen al menos 3 pisos altitudinales superiores de donde se ubican los atrapanieblas en estudio.

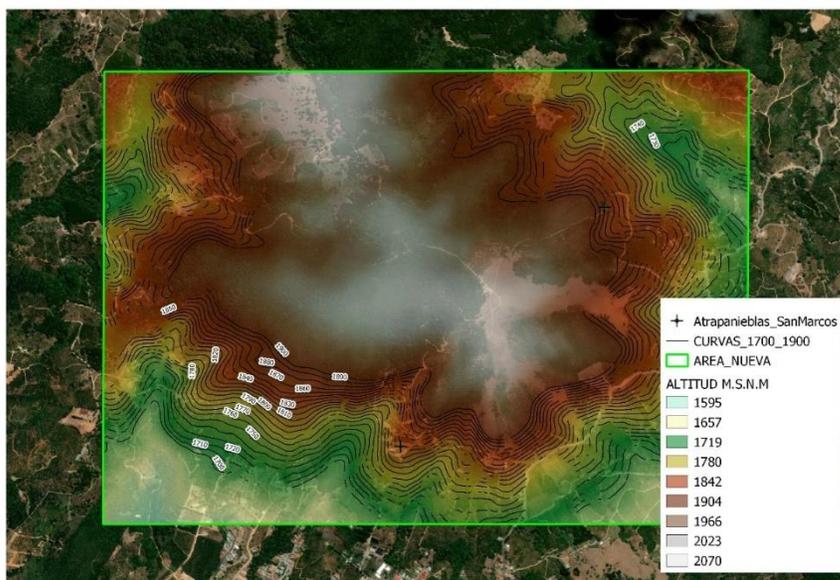


Figura 20. Mapa temático altitudinal del cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú. Con las curvas de nivel cada 20 metros y la zona de influencia por piso altitudinal de los atrapanieblas entre los 1700 m.s.n.m y los 1900 m.s.n.m.

Se reconoció el porcentaje según características de la vegetación utilizando las imágenes en tiempo real de la plataforma gratuita Landviewer. Donde primeramente se identificó el sitio de estudio y se aplicó el Índice de Vegetación (NDVI) para poder identificar las características generales de cobertura boscosa presente en el cerro Trinidad (ver Figura 21). Entre más oscuro el tono de verde corresponde a una cobertura vegetal más densa y cuando el color se acerca a los tonos amarillos y rojos la densidad de la cobertura vegetal disminuye o es inexistente. Al menos en 287 hectáreas del cerro Trinidad el índice de cobertura boscosa es denso, 28,76 hectáreas presentan condiciones de vegetación moderada, 13,64 hectáreas se encuentran con vegetación escasa y en al menos 1,04 hectáreas el terreno es suelo abierto o sin vegetación.

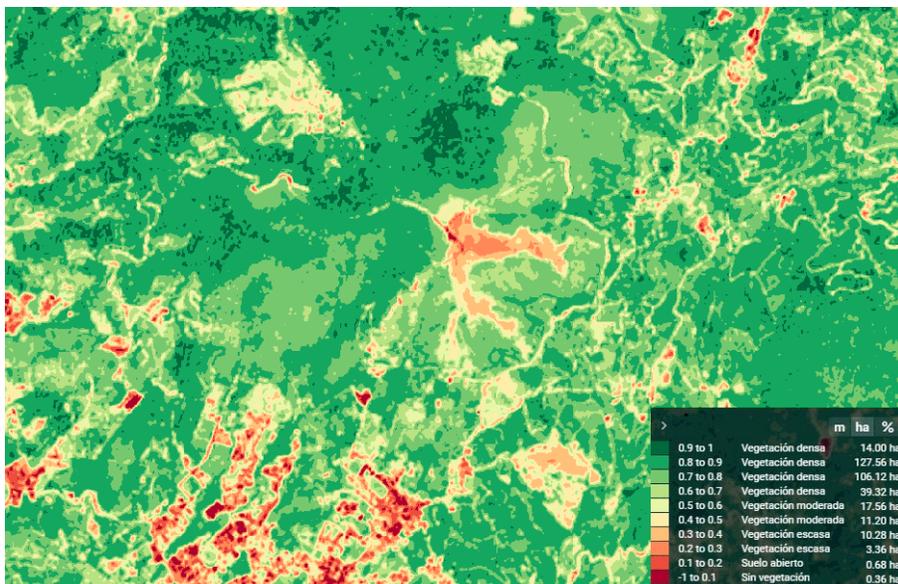


Figura 21. Mapa temático de la cobertura del índice de vegetación del cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú. Los colores verdes demarcan el índice de vegetación y los colores rojo definen las áreas sin cobertura vegetal, en tiempo real

El área total de influencia de captación de lluvia horizontal de los atrapanieblas en el cerro Trinidad es de cerca 292 hectáreas que en promedio equivalente a alrededor del 54% de las 539 hectáreas de área total bajo estudio en el cerro Trinidad. El potencial de aporte hídrico del cerro Trinidad evaluado con los atrapanieblas, se estimó con su ubicación altitudinal en sus curvas de nivel y la cobertura boscosa (ver Figura 22).

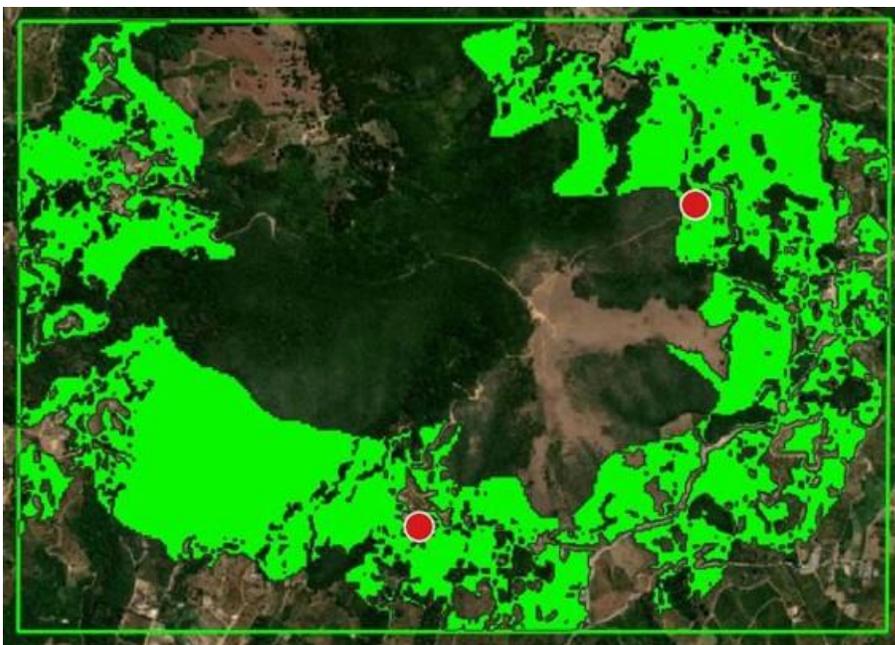


Figura 22. Cobertura boscosa del área de influencia latitudinal de los atrapanieblas (polígono verde), ubicados entre los 1700 m.s.n.m y 1900 m.s.n.m en el cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú (puntos rojos).

Si se relaciona que en 12 metros cuadrados de sarán se captaron alrededor de 712 litros de agua, en 1276 horas efectivas de neblina en un promedio de 53 días durante el periodo de estudio, es decir un valor cercano de colecta de 13 litros al día (1 litro por metro cuadrado). En 1883200 m² del área de influencia de los Atrapanieblas entre los 1700 y 1900 de altitud, el potencial de aporte hídrico de la cobertura boscosa en ese sitio del cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú es de 1883200 litros por m² al día (ver cuadro 2).

CUADRO 2. Potencial de aporte hídrico por área de superficie de captación en relación con la cobertura boscosa del área de estudio en el cerro Trinidad, San Marcos de Tarrazú

Superficie de captación de lluvia horizontal	Área de captación total de los atrapanieblas	Captación probable de lluvia horizontal al día en los atrapanieblas (litros)	Cobertura boscosa del área de influencia	Captación probable al día de lluvia horizontal por parte de la cobertura boscosa en el área de influencia (litros)	Cobertura boscosa del área TOTAL de estudio	Captación probable al día de lluvia horizontal por parte de la cobertura boscosa en el área TOTAL de estudio (litros)
metro cuadrado (m²)	1 m ²	1 l/m ²	1 883 200 m ²	1 883 200 l/m ²	3 590 000 m ²	3 590 000 l/m ²
hectárea (ha)	0,0001 ha	0,0001 l/ha	188,320 ha	188,320 l/ha	359 ha	359 l/ha

Se observa en la tabla anterior que la capacidad probable por metro cuadrado en los atrapanieblas es de 1 litro al día, por lo que en proporción a la superficie de cobertura vegetal presente en el área de influencia de los atrapanieblas por hectárea es de alrededor de 188 litros diarios. Elevando la proporción al área total de estudio, el valor posible de la captación de lluvia horizontal en el cerro Trinidad es cercano a los 359 litros de agua por hectárea al día.

Discusion

Ubicación de los atrapanieblas

Al instalar atrapanieblas se debe considerar el uso que se le dará al agua, ya sea para un proyecto ambiental o con propósito a nivel socioeconómico, para estimar lo que se planea coleccionar de lluvia horizontal y los costos o existencia de materiales, al mismo tiempo para poder definir las dimensiones de la estructura. Otros elementos por considerar para construir el sistema óptimo es evaluar las condiciones físicas del entorno para localizar el mejor lugar de colocación, a su vez se debe identificar las posibilidades de nubosidad, además el conocimiento general del sitio de estudio es relevante para lograr alta efectividad de captación de lluvia horizontal (Cereceda, 2014; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013: p. 217-222; Mendoza y Castañeda, 2014).

En el caso de los atrapanieblas ubicados en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú, el propósito del proyecto fue dar a conocer el potencial de aporte hídrico de la neblina en el sitio, por lo que no se contaba con una cantidad específica de captación de agua de lluvia horizontal. Además, se vinculó con las ASADAS ya que son un componente social relevante y se genera una mejor sinergia para demostrar otra fuente

de agua en las comunidades aledañas al cerro y su posible uso a futuro en diversas actividades.

Autores como Mendoza y Castañeda (2014) señalan que la fácil adaptación a las condiciones del sitio de este tipo de proyectos permite definir el mejor modelo, equipo y materiales adecuados para la estructura atrapaniebla, así como una altura y extensión de estructura de fácil manipulación por parte de las personas interesadas en su uso, lo cual condesciende a un mejor seguimiento del proyecto en el tiempo y facilita las labores de mantenimiento.

Es así como el nivel de altura del relieve y su localización geográfica son factores relevantes al colocar atrapanieblas. Los resultados más eficientes en la captura de lluvia horizontal se han registrado en altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m y se ha demostrado que la incidencia de neblina incrementa conforme suben los pisos altitudinales al elevarse las nubes con alta humedad transportadas por el viento y bajar las temperaturas, sin embargo el fenómeno de la neblina también se ha coleccionado en islas y desiertos con altitudes mayores a 600 m.s.n.m donde la presencia de neblina se ve influenciada por las brisas oceánicas (Canchig y Garcés, 2020; Suiney, 2020).

Los atrapanieblas ubicados en las altitudes de 1700 m.s.n.m y 1900 m.s.n.m en la zona de estudio, demostraron que existe un aporte potencial hídrico de la neblina en esos pisos altitudinales en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú. Por lo que se considera que a mayor elevación en la ubicación de éstos hay aún una potencialidad mayor de capturar agua de la neblina.

Estructura del Sistema atrapaniebla

En experimentaciones referentes a la superficie para la condensación de la neblina en atrapanieblas se menciona la importancia de considerar que sean materiales resistentes al sol, corrosión, exposición al viento y alta humedad, el sarán es el que en promedio rinde mejores resultados, dentro de las características de los mismos se resalta que la mayor eficiencia obtenida fue con sarán entre los 35% y 80% de porosidad, es decir el porcentaje de sombra del sarán no puede ser muy pequeño ya que el aire debe fluir con facilidad, ni tampoco puede ser muy elevado debido a que la neblina no tendrá alta posibilidad de condensarse y la captación será baja. En relación con la disposición del sarán para la captación de agua de lluvia horizontal, se recomienda su colocación en forma poliédrica, es decir en varias direcciones, ya que así el aire tendrá mayor posibilidad de

ser interceptado por la superficie y habrá una mayor cobertura en toda dirección del viento. Estudios señalan que, dentro de las desventajas de este diseño son el incremento de los costos de la estructura al aumentar la superficie del área de captación, pero una forma multidimensional permite una captación más eficiente y mejora la estructura ante los fuertes vientos, así mismo la colocación de doble paño de sarán incrementa la captación de agua de lluvia de neblina (A. Cruz, comunicación personal, 16 de agosto 2021; Antara y Marquez, 2020; Caceres y Cairampoma, 2020; Canchig y Garcés, 2020).

A su vez se menciona que, con el avance en las tecnologías y procesos remotos, la posición de los atrapanieblas en proyectos internacionales, es posible de modificarse a conveniencia según los cambios en la dirección del viento durante el día sin necesidad de ir al campo, por ejemplo en Perú (A. Cruz, comunicación personal, 16 agosto 2021). Se podría evaluar la utilización de energía solar para el funcionamiento de atrapanieblas digitalizados.

Captación de agua en atrapanieblas

El promedio de la humedad relativa durante el periodo de recolección de datos en junio, julio, agosto y septiembre del 2021 para la zona de estudio en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú, fue de 92,4%, la temperatura 17,53°C y el punto rocío cercano de 16,09°C. Se detalla la diferencia entre las temperaturas mencionadas no mayor a 2°C.

Investigaciones realizadas en sistemas atrapanieblas en diferentes niveles altitudinales donde predominan las bajas temperaturas demuestran que, cuando la humedad relativa es próxima al 100% la probabilidad de neblina aumenta, ya que el aire se encuentra saturado de vapor de agua (aumento de la temperatura de punto de rocío) y al disminuir la temperatura se condensa, los autores señalan que existe una relación proporcional entre la humedad relativa y el punto de rocío que se ve influenciada por la temperatura (ver figura 15) (Algarni, 2018; Braojos y García, s.f; Cabeza y Castillo, 2016; Canchig y Garcés, 2020; Cárdenas y García, 2019). Demostrándose que el cerro Trinidad cuenta con un promedio de condiciones atmosféricas efectivas para la captación de lluvia horizontal y que la neblina es un probable fenómeno constante en el sitio.

Para la interpretación de los datos de punto de rocío y temperatura registrados por la Estación Meteorológica UNED-San Marcos, el Dr. Marcial Garbanzo Salas, explicó en comunicaciones personales que, cuando la diferencia entre las temperaturas ambientales y la temperatura del punto de rocío no supera 2°C y es más cercano a 0, la probabilidad de presencia de neblina es mayor, lo cual es una tendencia constante en las condiciones atmosféricas del cerro Trinidad. A su vez Canchig y Garcés (2020) señalan que entre más cercanas las temperaturas a 0°C existen condiciones óptimas para la formación de neblina.

Estimación de cobertura boscosa en el cerro Trinidad utilizando herramientas de SIG

La utilización de las facilidades tecnológicas como los SIG, el programa QGIS e imágenes satelitales, permiten de manera remota estudiar sitios específicos desde cualquier punto de ubicación del grupo investigador, incentivando la generación y mantenimiento de datos actualizados en diversas ramas de investigación. Los SIG han facilitado estudios sobre la determinación de probabilidad de presencia de neblina en algún sitio específico. Se mencionan los estudios realizados en Chile y en Perú, donde se utilizaron imágenes satelitales para generar información sobre la altitud e índice de cobertura vegetal, parámetros que se pueden utilizar para la determinación de áreas potenciales para la condensación de la neblina y colocación de atrapanieblas, así como para la identificación de los puntos con mayor eficiencia de aporte hídrico por parte de la neblina asociado a la cobertura vegetal del terreno, lo cual sería otro recurso para apoyar la toma de decisiones y el desarrollo sostenible en la región (Calderón, 2019; León et al, 2019; Universidad Católica del Norte de Chile [UCN], 2017).

Para la zona de estudio en el cerro Trinidad la utilización de los SIG permitió la identificación de las áreas con cobertura boscosa y áreas sin cobertura boscosa. En un área de estudio de 539 hectáreas, se estimaron cerca de 359 hectáreas de cobertura boscosa, más del 60% del terreno. En proporción al menos el 40% se encuentra sin cobertura boscosa. Específicamente en el área de influencia altitudinal de los 1700 m.s.n.m y los 1900 m.s.n.m donde se ubican los atrapanieblas, correspondiente a cerca de 292 hectáreas, más del 50% del total del área de estudio, el índice de cobertura vegetal fue cercano a las 188,320 hectáreas.

Estimación del aporte hídrico de la neblina en relación con la cobertura boscosa en el cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú entre los 1700 m.s.n.m y los 1900 m.s.n.m

La captación de agua de neblina ocurre con mayor efectividad en zonas con cobertura boscosa. Investigaciones indican que esto es debido a que las hojas vegetales son las superficies de condensación natural utilizadas por el vapor del agua transportado por las corrientes de aire de manera horizontal, para engrosarse y formar gotas más grandes que luego caen. También los autores señalan que en los bosques donde la neblina es constante este proceso es utilizado como aporte hídrico al ecosistema y está condicionado por las características vegetales del entorno (Amaya et al, 2017; Ciencia en Chile, 2020; Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias Costa Rica [CNE], 2019).

Investigaciones señalan que este tipo de aporte hídrico de la lluvia horizontal al ser colectado en estructuras atrapanieblas, puede llegar a influenciar en la disminución de la huella hídrica de la región, así como incentivar programas de educación ambiental para dar a conocer la implementación de la tecnología atrapaniebla, ofrecer un valor agregado a las cadenas de restauración ecológica y producción de productos y servicios en las localidades donde se utilizan (Carrasquilla, s.f; Condori, 2019; Morales, 2020; Quiche, 2019; Suiney, 2020; Vértiz et al, 2020).

Se detalla que existe un aporte hídrico por parte de la neblina en el cerro Trinidad, que corresponde a 1 litro por metro cuadrado de cobertura boscosa en proporción de resultados con la captación de agua de lluvia horizontal en 1 metro cuadrado de los atrapanieblas, lo cual sugiere que el sistema artificial es una alternativa efectiva para la obtención de recurso hídrico en el sector del cerro Trinidad en San Marcos de Tarrazú entre los 1700 m.s.n.m y los 1900 m.s.n.m.

Conclusiones

La elaboración de atrapanieblas conlleva a una caracterización multidisciplinaria del sitio donde se coloquen. Factores geológicos, geográficos, meteorológicos, mecánicos, de diseño, sociales y económicos del lugar son necesarios de tomar en cuenta para la planificación y presupuestación de un proyecto de captura de lluvia horizontal por medio de atrapanieblas.

En 1276 horas estimadas con neblina constante, equivalente a alrededor de 53 días, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre del 2021, se lograron cuantificar 712 litros de agua provenientes de neblina en una superficie de sarán de 12 m². Detalladamente en el Atrapanieblas 1 a 1700 m.s.n.m se colectaron aproximadamente 400 litros y en el Atrapanieblas 2 ubicado a 1900 m.s.n.m se captaron cerca de 312 litros, durante el periodo de estudio, en 6m² cada uno.

En el cerro Trinidad existen aproximadamente 316 hectáreas con cobertura boscosa, las cuales corresponden a alrededor del 66% del área total. En donde en el área de influencia de los atrapanieblas se detalló al menos 188,320 hectáreas de cobertura boscosa entre los pisos altitudinales de 1700 m.s.n.m y 1900 m.s.n.m. Indicando un potencial de aporte hídrico del sitio de colocación de los sistemas atrapanieblas de al menos 1 883 200 litros/ metros cuadrados al día.

Recomendaciones

Se recomienda identificar posibles usos para el agua de neblina, para poder optar por el diseño más eficiente según las condiciones del entorno donde se pretendan implementar, esto facilitará planificar la ubicación, dimensión y presupuesto de materiales de las estructuras atrapanieblas. A mayor superficie de captación y mayor altitud en los atrapanieblas, mayor será el volumen colectado de agua de neblina.

Es recomendada la utilización de SIG para la implementación de propuestas de investigación con atrapanieblas, ya que permiten un monitoreo remoto, así como una localización geoespacial más efectiva y facilitadora en los procesos de planificación, seguimiento, presentación de propuesta y mantenimiento del proyecto.

Se sugieren seguir con los esfuerzos de reforestación y restauración ecológica en el cerro Trinidad. La presencia de cobertura boscosa es clave para la permanencia y conservación en el tiempo del bosque representativo del sitio. Se deben reforzar las alianzas entre los actores clave y sociales de la comunidad que se benefician del uso de los servicios ecosistémicos ofrecidos por el cerro Trinidad hacia la comunidad de San Marcos de Tarrazú.

Referencias

Algarni, S. (2018). Assessment of fog collection as a sustainable water resource in the southwest of the Kingdom of Saudi Arabia. *Water and Environment Journal*. doi:10.1111/wej.12330 .

Amaya, C; Hernández, C; Vargas, J; Osorio, S; Durán, S y Cala, K. (julio 2017). Propuesta de un Sistema de “Atrapa-Nieblas”, como fuente de agua no convencional en La Vereda La Fuente, Municipio de Los Santos, Departamento de Santander.

<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1527/Articulo%20formulacion%20de%20atrapanieblas%20como%20alternativa%20de%20agua%20potable%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Antara, J y Marquez, E. (2020). Evaluación de la eficiencia de la tecnología de atrapanieblas de tipo Raschell al 50% y 80% de porosidad en el cerro las Tunas para el riego de las áreas verdes de la Universidad Peruana Unión (Tesis licenciatura, Universidad Peruana Unión).

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3111/Jhan_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Braojos, J y García, E. (s.f). Aproximación al cálculo de la lluvia horizontal y a su incidencia en la recarga del sistema acuífero de Tenerife.

<https://www.aguastenerife.org/images/pdf/ponenciasdocumentos/CalculoLLuviaHorizontal.pdf>

Cabeza, C y Castillo, Y. (2016). Diseño de un sistema de recolección de agua por rocío y niebla para el abastecimiento de agua en la comunidad del Barrio la Esperanza, localidad de Chapinero.

https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5285/Dise%C3%B1o_sistema_recolecta%C3%B3n_agua_abastecimiento_comunidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Caceres, A y Cairampoma, L. (2020). Evaluación de la Eficiencia de Colecta de agua del Sistema de Atrapanieblas Hexagonal y Estándar en Asentamiento Humano Ida Lossio Villa el Salvador Y Asentamiento Humano Villa Pachacútec (Ventanilla), Perú. (Tesis bachillerato – Universidad Peruana Unión).

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3202/Andres_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calderón, P. (2019). Identificación de zonas más adecuadas mediante la evaluación multicriterio para ubicar sistemas atrapaniebla que colecten agua para riego en la provincia de Azuay. (Tesis de grado - Universidad de Azuay). <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9597/1/15230.pdf>

Canchig, X y Garcés, J. (2020). Aporte hidrológico de la precipitación horizontal en el “bosque nublado Asabí” en la zona de Intagimbabura. (Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte). <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8901>

Cárdenas, M y García, C. (2019). Medición de la condensación de lluvia horizontal con tres estructuras: el caso del municipio de Zipacón (Cundinamarca, Colombia). *Revista producción + limpia*. 14(1), pp: 94-109. doi: 10.22507/pml.v14n1a9

Carrasquilla, O. (s.f). Bosques para el agua: Integración del manejo forestal sostenible y el manejo de recursos hídricos.

https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1493/Bosques_para_el_agua_Integracion_del_manejo_forestal_sostenible_y_el_manejo_de_recursos_hidricos.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Cereceda, P. (2014). La niebla: localización geográfica y recurso hídrico. En Cereceda, P; Hernández, P; Leiva, J y Rivera J (Eds), *Agua de Niebla: nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. <https://es.scribd.com/document/316038000/Libro-Agua-de-Niebla-1-pdf>

Ciencia en Chile. (20 noviembre 2020). Científicos trabajan en la identificación de plantas “atrapanieblas”. <https://www.cienciaenchile.cl/cientificos-trabajan-en-la-identificacion-de-plantas-atrapanieblas/>

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias Costa Rica (8 mayo del 2019). Estado del ambiente general de la cuenca del Río Pirris. <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20V4/pdf/spa/doc2982/doc2982-2.pdf>

Condori, Y. (2019). Evaluación del aporte a la disminución de la huella hídrica por el uso de los atrapanieblas en el distrito de Villa María del Triunfo. (Tesis de grado – Universidad Tecnológica de Lima Sur). http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/566/1/T088A_73976160_T.pdf

Hidalgo, D. (2016). Captación de agua por medio de la técnica de atrapanieblas en las comunidades campesinas de Galte, Cantón Guamote, provincia de Chimborazo, Ecuador. (Tesis de grado – Universidad de las fuerzas armadas). <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11891/1/T-ESPE-053243.pdf>

Huertas, J y Molina, P. (2016). Estudio de prefactibilidad para la posible implementación de atrapanieblas en el municipio de Ráquira. (Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas). <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/>

León, T; Ocola, L y Rojas, J. (noviembre 2019). Ubicación de la mayor concentración de nieblas de advección en la costa central del Perú usando datos satelitales para utilizarlo como fuente de agua dulce. *Workshop de mecánica de fluidos 50 aniversario*. Lima, Perú. pp: 4-6. <https://fisica.unmsm.edu.pe/imf/wp-content/uploads/2020/09/LEON.pdf>

Mendoza, C y Castañeda, F. (2014). Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. (Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia). <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1748/1/Atrapanieblas%20B.%20Mendoza%20F.%20Casta%20c3%b1eda.pdf>

- Morales, A. (7 julio 2020). Atrapanieblas para recuperar bosques y acuíferos. Canarias7. <https://www.canarias7.es/canarias/gran-canaria/atrapanieblas-para-recuperar-bosques-y-acuiferos-KX9415738>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. <https://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Quiche, M. (2019). Evaluación de la malla atrapaniebla como método alternativo para mejoramiento de la oferta hídrica, sus usos potenciales y la gobernanza del agua. estudio de caso: estación atrapaniebla colegio Agustín Fernández sede – c. Barrio Santa Cecilia, Usaquén. (Tesis de grado – Universidad del Bosque). https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2768/Quinche_Bautista_Manuel_Sebasti%C3%A1n_2019.pdf?sequence=1
- Universidad Católica del Norte de Chile. (6 febrero 2017). Rastrear áreas para la instalación de atrapanieblas en la Región de Antofagasta. <https://www.noticias.ucn.cl/destacado/rastrear-areas-para-la-instalacion-de-atrapanieblas-en-la-region-de-antofagasta/>
- Vértiz, J, Guevara, M, Vílchez, G, Delgado, R, Cucho, R y Vértiz, R. (abril/junio 2020). Tecnología para “atrapar” el agua: una experiencia exitosa y su impacto socioeconómico – ambiental. Revista inclusiones. (7). pp:59-73
<http://revistainclusiones.org/pdf10/4%20VOL%207%20NUM%20CONGRESOGOBERNANZAABRILJUNIO2020REVINCLUSI.pdf>
- Suiney, H. (2020). Siembra y cosecha de agua con atrapanieblas para forestación como mecanismo del cuidado del medio ambiente produciendo materia prima y evitando desastres en el área de influencia en Lomas del distrito de Villa María del Triunfo – Lima. (Tesis de grado – Universidad Ricardo Palma). https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/3468/CIV-T030_74168034_T%20%20%20SUINEY%20CESTTI%20HERBERT%20ATILIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y