

MEMORIA

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac (Perú)

Iñigo Malo Fernandez-Ferreiros

1- OBJETIVOS	3
2- INTRODUCCIÓN	4
2.1- ESTRÉS HÍDRICO	4
2.2- NIEBLA	6
2.2.1- TIPOS DE NIEBLA	7
2.2.2- DIFERENCIAS ENTRE NIEBLA Y NEBLINA Y SMOG	10
2.3- CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA	11
2.4- MALLAS ATRAPANIEBLAS	13
2.4.1- LUGARES PARA PROYECTOS ATRAPANIEBLAS	14
2.4.2- VENTAJAS Y DESVENTAJAS	16
2.4.3- FASES DE UN PROYECTO ATRAPANIEBLAS	16
3- ANTECEDENTES	18
3.1- PRIMEROS PROYECTOS DE ATRAPANIEBLAS	18
3.2- PROYECTO DE ICO Y ZABALKETA EN BOLIVIA	20
4- CONTEXTO	22
4.1- PERÚ	22
4.1.1- CORDILLERA DE LOS ANDES	23
4.1.2- APURÍMAC	24
4.1.3- CÁRITAS ABANCAY	26
5-METODOLOGÍA	27
5.1- ESTUDIO DE LAS ZONAS	27
5.1.1- OCCORURO	28
5.1.2- CONCACHA	29
5.1.3- CCOCHA	30
5.1.4- PUCUTA	31
5.1.5- ESTUDIO METEOROLÓGICO DE PUCUTA	32
5.2- MALLAS CLOUDFISHER	34
5.3- DISEÑO DE LOS NEBLINÓMETROS	36
5.6- PRESUPUESTO	39
5.4- RECOGIDA DE DATOS	40
5.5- ALTERNATIVAS	41
5.5.1- MALLAS RASCHEL	42
5.5.2- ESTRUCTURA DE EUCALIPTO	43
6- RESULTADOS	46
6.1- INSTALACIÓN DE LOS NEBLINÓMETROS	46
6.1.1- OCCORURO	47
6.1.2- CONCACHA	51
6.1.3- PUCUTA	53
6.1.4- CCOCHA	56
7- CONCLUSIONES	59
8- REFERENCIAS	60
9- ANEXOS	61

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

1- OBJETIVOS

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal dar una solución a la escasez de agua a través de la implementación de un proyecto de mallas atrapanieblas en la región de Apurímac, Perú. Proyecto en el que se pretende estudiar la viabilidad de la aplicación de esta tecnología en esta región mediante la instalación de neblinómetros de manos de la organización no gubernamental originaria de la ciudad de Getxo, Zabalketa. La Asociación Zabalketa, junto a sus socios locales, en este caso Cáritas Abancay, apuesta por implementar proyectos sostenibles y respetuosos con la naturaleza, intentando mejorar la calidad de vida de las poblaciones necesitadas sin perjudicar el entorno. De hecho, no es la primera vez que Zabalketa participa en un proyecto de mallas atrapanieblas, pues llevan años trabajando en este sector. En 2018, realizaron un estudio de características muy similares al de este proyecto en Bolivia, en los Valles Cruceños. Aquel estudio ha servido como referencia y base a la hora de realizar este proyecto en Perú. Sumada a la participación directa de Zabalketa y Cáritas Abancay, este proyecto cuenta con la colaboración de la organización no gubernamental alemana de WaterFoundation, que han trabajado junto a Zabalketa con anterioridad en proyectos como el de Bolivia. En este caso, WaterFoundation se ha encargado de facilitar las mallas CloudFisher, unas mallas diseñadas para optimizar la captación de agua de niebla.

Durante el documento se explicarán desde los conceptos básicos sobre la niebla y las características idóneas para la captación de agua de niebla, hasta todos los detalles sobre el proyecto realizado hasta la instalación de los neblinómetros en Apurímac, Perú. Por último, cabe resaltar que este documento también sirve como una guía para futuros estudios en otras partes del mundo.

2- INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. El derecho humano al agua es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de otros derechos humanos. La escasez de agua es un desafío crucial que enfrentan muchas regiones del mundo, especialmente las regiones en desarrollo. La falta de agua afecta directamente al desarrollo ambiental y socioeconómico de las comunidades.

2.1- ESTRÉS HÍDRICO

Se define como estrés hídrico al caso en el que la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. De acuerdo con el índice de estrés hídrico de Falkenmark se considera que un país o una determinada región experimenta estrés hídrico cuando los suministros anuales de agua caen por debajo de los 1.700 metros cúbicos por persona por año. Cuando el consumo anual baja de los 1.000 metros cúbicos personales, se considera que la región se encuentra en una situación de escasez de agua.

En 2020, se calculó que unas 1100 millones de personas en el mundo sufren de estrés hídrico, de las cuales la gran mayoría viven en países en desarrollo. Este dato significa que una persona de cada 6 no tenía acceso a suficiente agua potable.

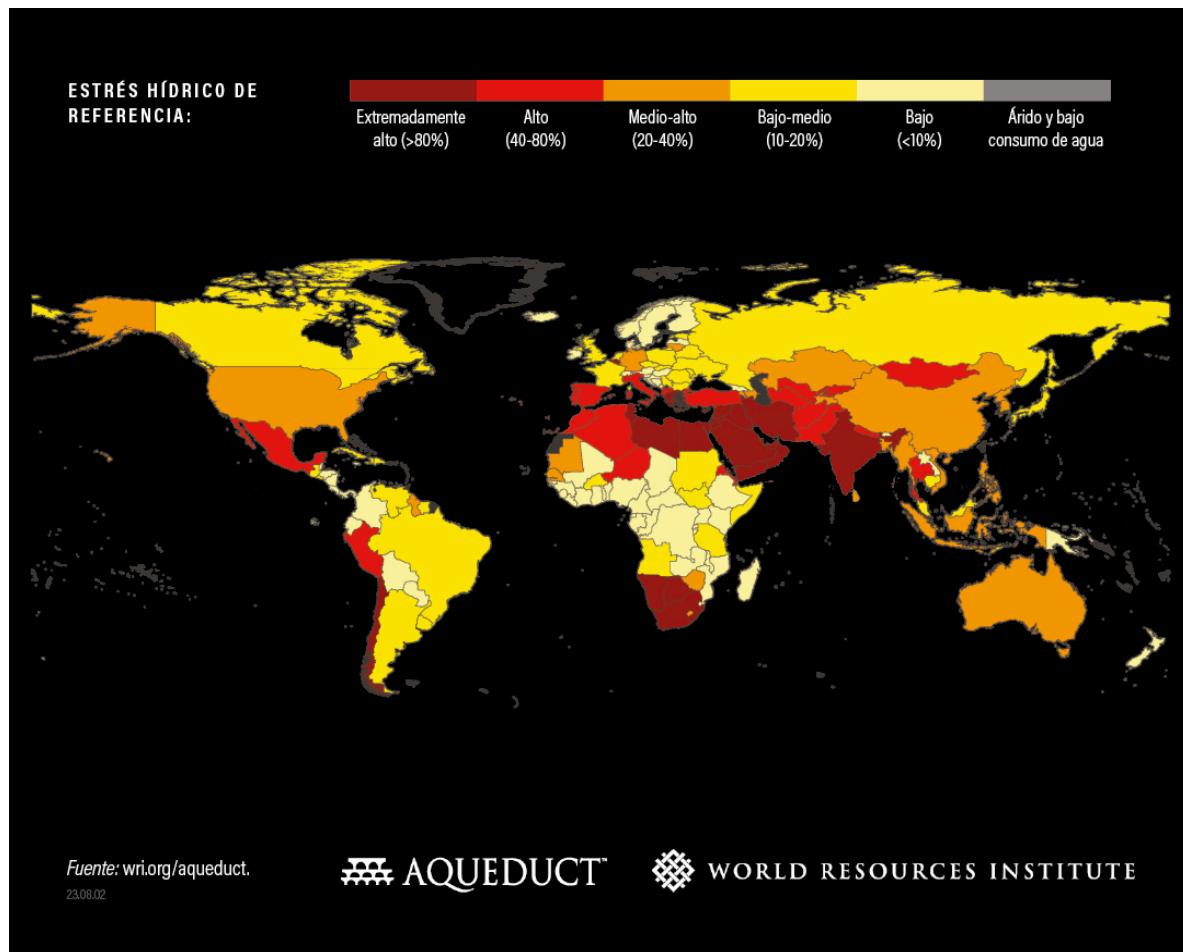


Figura 2.1. Mapa referencia de nivel de estrés hídrico mundial. Del artículo 25 países, 'una cuarta parte de la población mundial, enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto. Agosto 2023' del WRI

Este dato se prevé que empeorará para 2025, se estima que 1.900 millones de personas vivirán en países o regiones que enfrentan una escasez absoluta de agua. Mientras que dos tercios de la población mundial podrían estar en una situación de estrés hídrico. De hecho, en España existe un gran riesgo de sufrir estrés hídrico debido a la alta demanda de agua que hay en nuestro país. Los expertos calculan que dentro de 15 años más de la mitad de los españoles sufrirá las consecuencias de este problema ambiental.

Este empeoramiento se debe al cambio climático, pues el calentamiento global puede tener un impacto significativo en los patrones de lluvia en todo el mundo, lo que puede llevar a cambios en la disponibilidad de agua, la agricultura, la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

2.2- NIEBLA

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define la niebla atmosférica como la suspensión de gotas pequeñas de agua en el aire que también reduce la visibilidad horizontal en la superficie terrestre a menos de 1 km. Se trata de la condensación de la humedad del aire aún en suspensión, pues las partículas de agua no son lo suficientemente grandes (1-40 μm de diámetro) como para que la gravedad de la tierra fuerce su precipitación. La niebla se identifica como nubes que están a nivel del suelo. Existen varias razones por las que la niebla puede llegar a formarse, pero la más usual es por la evaporación de la humedad del suelo.



Figura 2.2. Foto de un bosque montañoso cubierto por la niebla.
Fotografía de Inggrid Koe en Unsplash.

2.2.1- TIPOS DE NIEBLA

- Niebla de advección

La niebla de advección se forma debido al movimiento del aire relativamente cálido y húmedo sobre una superficie a menor temperatura. Debido al enfriamiento del aire por contacto con esa superficie fría, alcanza la temperatura de saturación, dónde el vapor de agua se condensa. Este tipo de niebla se suele dar en las zonas costeras. En invierno se da en el mar, en cambio en verano se da en la costa. Esto ocurre por la diferencia de capacidad calorífica entre la tierra y el mar, y es que el último tiene una mayor capacidad para absorber y liberar calor.



Figura 2.3. Niebla de advección en Rías Baixas. Fotografía de J. Santomé.

- Niebla de evaporación

Es el caso opuesto al de la niebla por advección, se da cuando el aire frío surca sobre una masa de agua más cálida. Normalmente se da en las zonas polares y en los lagos en invierno. También puede ocurrir este tipo de niebla cuando llueve y las gotas tienen más temperatura que el aire de alrededor, ocurre si el aire se satura y las gotas se evaporan.



Figura 2.4. Niebla de evaporación sobre un lago. Fotografía de RTVE.

- Niebla de radiación

Este fenómeno suele darse tras la puesta del sol. Cuando no hay nubes en el cielo, mediante la radiación infrarroja, la tierra pierde calor. Es entonces cuando el suelo que se ha enfriado produce la condensación del aire próximo, dándose así la niebla por radiación. Cuando hay nubes la niebla no se da, pues el calor no se escapa al espacio. Este tipo de niebla se suele dar en las épocas otoñales en lugares de clima templado, suelen ser nieblas de un espesor de 1 metro y de corta duración.

- Niebla de ladera

También conocida como niebla orográfica. Se forma cuando el aire húmedo se eleva sobre una superficie montañosa y se enfriá lo suficiente como para que el vapor de agua se condense en diminutas gotas de agua, hasta que llega al punto de rocío, en el que se forma la niebla. Es por esto que muchas veces las cumbres montañosas aparecen nubladas.



Figura 2.5. Imagen del Teide rodeado de niebla. Fotografía de Imanol Zuaznabar.

- Niebla de valle

Se da típicamente durante el invierno, como resultado de la inversión térmica. Ocurre cuando el aire frío se acumula en el fondo del valle, mientras que el aire más cálido fluye sobre él y las montañas. Básicamente, es una niebla de radiación atrapada por la topografía del terreno, y puede persistir durante varios días si las condiciones meteorológicas son estables.

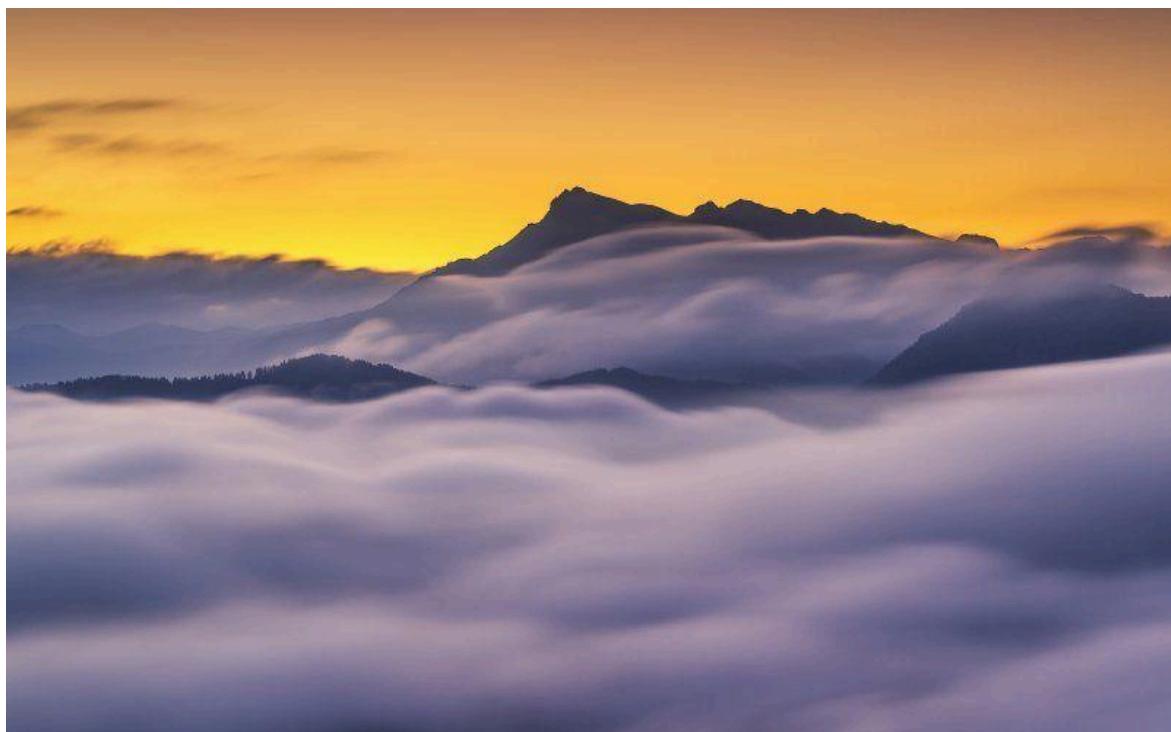


Figura 2.6. Ejemplo de niebla de valle en Euskadi. Fotografía del Diario Vasco.

2.2.2- DIFERENCIAS ENTRE NIEBLA Y NEBLINA Y SMOG

Si bien la niebla y la neblina son fenómenos casi idénticos, se diferencian por el tipo de entorpecimiento en la visibilidad que generan. La neblina se compone de gotas más pequeñas y menos concentradas que la niebla, por lo que reduce la visibilidad en menor medida, el rango de visión siempre será mayor a 1 km, que es el límite que diferencia a ambas.

En cambio el smog, o niebla tóxica, no tiene tantas similitudes con la niebla, smog viene de la unión de las palabras en inglés de smoke (humo) y fog (niebla). Es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes que se

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

mantiene estancada en el aire por su densidad. El fenómeno suele tener lugar en ciudades muy pobladas y se manifiesta en forma de nube sucia que dificulta la visibilidad, además de acarrear graves consecuencias para la salud de la población.



Figura 2.7. Presencia de smog fotoquímico en la ciudad de Los Ángeles.

Fotografía de National Geographic.

2.3- CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA

Diferentes casos, como el del proyecto de Zabalketa en Bolivia (2018) o el proyecto de la fundación Un Alto En El Desierto en la región chilena de Coquimbo (2009), han demostrado que es posible captar agua de la niebla, la captación de rocío, y que es una fuente de agua potable aún sin explotar en diferentes partes del mundo donde predomina la escasez de la misma. A lo largo de la historia, se han empleado diversos dispositivos artificiales para la recolección de agua de niebla. Desde los antiguos montículos de piedra en Ucrania, pasando por los "estanques de rocío" medievales en el sur de Inglaterra, hasta la piedra volcánica utilizada para cubrir los cultivos en los campos de Lanzarote. Todos estos métodos han sido considerados para desarrollar dispositivos de recolección de rocío o niebla.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

En la naturaleza también encontramos varios casos donde diferentes animales y plantas son capaces de recoger agua de rocío. Existen varios bosques de niebla, donde los árboles y las plantas capturan las gotas de agua de niebla que se condensan en ellas. También existen en el desierto de Namib, ciertas especies de escarabajos que pueden nutrirse del agua que condensan en su cuerpo.

El proceso de captación de agua de niebla se basa en la condensación del vapor de agua presente en la niebla en una superficie adecuada, hoy en día se han desarrollado los sistemas llamados atrapanieblas que utilizan mallas de tejidos especialmente diseñados con este fin. Esta tecnología se usa en regiones desérticas, con difícil acceso a agua potable donde la presencia de niebla es abundante. Estos sistemas se empezaron a desarrollar en los años 1960 en Chile. Concretamente, en la zona del desierto de Atacama.

El desierto de Atacama es el de mayor aridez del mundo, pero por su proximidad a la costa, las masas de aire húmedo del océano Pacífico forman nieblas matinales o niebla de advección, llamadas localmente camanchacas. En esta región del mundo se encontró la posibilidad de aprovechar el agua que la niebla tiene. Desde entonces, los atrapanieblas se han ido utilizando en diferentes partes del mundo con unas características parecidas, como en Ecuador, Guatemala, Perú, Nepal, Israel, Marruecos, el desierto de Namib y las islas Canarias.



Figura 2.8. Paisaje del desierto de Atacama. Fotografía de la Universidad Católica del Norte.

2.4- MALLAS ATRAPANIEBLAS

Las mallas atrapanieblas son estructuras diseñadas para extraer agua de la atmósfera en regiones áridas o semiáridas donde la escasez de agua es un desafío común. Estas mallas consisten en paneles de malla que capturan la humedad presente en la niebla y la convierten en agua potable. Funcionan mediante un proceso de condensación, donde las partículas de agua suspendidas en la niebla se adhieren a las fibras de la malla y luego se recogen en un recipiente. Este método aprovecha la condensación natural de la humedad atmosférica para proporcionar una fuente de agua limpia y sostenible. Las mallas atrapanieblas son especialmente útiles en áreas donde las fuentes de agua dulce son escasas o inaccesibles, brindando una solución innovadora y de bajo costo para comunidades que enfrentan desafíos de agua. Además de su utilidad práctica, las mallas atrapanieblas también desempeñan un papel importante en la conservación del medio ambiente al promover el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

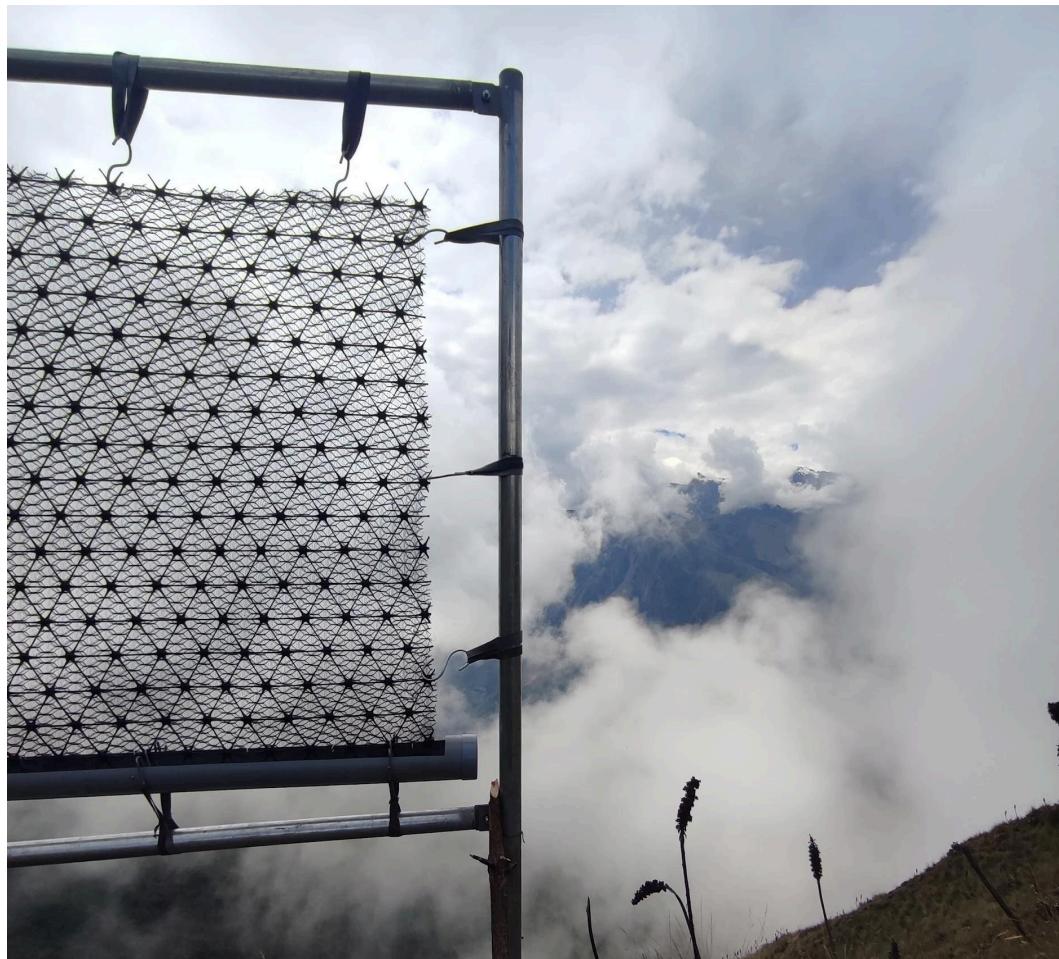


Figura 2.9. Imagen de una malla atrapanieblas en Perú. Imagen de autoría propia.

2.4.1- LUGARES PARA PROYECTOS ATRAPANIEBLAS

Los lugares idóneos para la colocación de mallas atrapanieblas son aquellos que cumplen con ciertos criterios climáticos y geográficos que favorecen la captura de niebla y la generación de agua. Estos lugares suelen ser áreas áridas o semiáridas donde la humedad relativa del aire es alta y la presencia de niebla es frecuente. Algunos de los lugares ideales incluyen:

- Laderas de montañas costeras

Las laderas de las montañas que se encuentran cerca del océano son propensas a la formación de niebla debido a la interacción entre el aire frío de las montañas y el aire cálido y húmedo del océano.



Figura 2.10. Imagen de la cordillera costera de California. Fotografía de Robert Schwemmer.

- Zonas neblinosas y nubosas

Áreas con patrones climáticos que generan neblina y nubes bajas son excelentes ubicaciones para la instalación de mallas atrapanieblas.

- Elevaciones moderadas

Lugares con elevaciones moderadas, como colinas y mesetas, pueden ser propicios para la instalación de mallas atrapanieblas, ya que la altura puede aumentar la exposición a la niebla.

- Desiertos costeros

Algunos desiertos costeros, como el desierto de Atacama en Chile o el Namib, experimentan niebla costera que puede ser aprovechada mediante mallas atrapanieblas.



Figura 2.11. Vista aérea del desierto del Namib. Imagen de GetYourGuide.

Estos son solo algunos ejemplos de lugares donde las mallas atrapanieblas pueden ser efectivas. La ubicación precisa depende de factores climáticos locales y patrones de niebla específicos. Es importante realizar un estudio detallado del clima y las condiciones locales antes de instalar las mallas atrapanieblas.

2.4.2- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Por un lado, las mallas atrapanieblas proporcionan una fuente de agua alternativa en áreas donde el acceso al agua potable puede ser limitado, siendo una fuente de agua que no consume energía, pues no necesita de electricidad para conducir el agua. Por esta razón, se puede decir que es una opción sostenible que respeta el medioambiente y de una forma mucho más barata que otras tecnologías. Otra ventaja que presenta esta tecnología es el fácil mantenimiento de las instalaciones. Por estas razones, esta tecnología resulta muy práctica e interesante para proyectos como este, pues en la zona en la que se va a realizar el estudio es muy pobre y no tienen recursos para mantener sistemas más costosos. Además, en un planeta que cada vez se resiente más y más de la contaminación, soluciones que no dejan huella en el medioambiente hacen de las mallas atrapanieblas una tecnología ideal para captar agua.

Por otra parte, la eficacia de las mallas atrapanieblas está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas. Como requisito básico, es completamente necesaria la presencia de niebla en la zona, aparte de que se deben cumplir otras condiciones. Aunque el costo de mantenimiento es bajo, las mallas necesitan limpieza regular para garantizar su correcto funcionamiento. Por último, la cantidad de agua recolectada no compite con otras tecnologías de recolección de agua potable. Aunque no sean unas desventajas muy graves, hacen que las mallas atrapanieblas sean una tecnología que sea útil en el contexto idóneo y dependiente de las condiciones tanto meteorológicas, como sociales del lugar. En el caso de este proyecto, ninguna de estas desventajas suponen un gran problema, pues las condiciones meteorológicas son adecuadas y las cantidades de agua que recogen las mallas son adecuadas para abastecer a las pequeñas comunidades de Apurímac.

2.4.3- FASES DE UN PROYECTO ATRAPANIEBLAS

1. Estudio e identificación de zonas potenciales para la instalación de mallas

El proceso generalmente comienza con un análisis de la topografía y las condiciones climáticas locales para identificar áreas adecuadas para la instalación de las estructuras atrapanieblas. Normalmente, esta información se facilita mediante la instalación de estaciones meteorológicas en las zonas a estudiar para obtener información fiable durante el periodo de estudio.

2. Instalación de neblinómetros

Una vez se han identificado los lugares donde se realizará el proyecto, se suele pasar a la fase de cálculo. Durante un periodo de tiempo, que puede variar entre varios meses de sequía a el año entero, se instalan los neblinómetros, mallas testigo de $1m^2$ conectadas a un bidón para ver la capacidad de captación diaria que hay en la zona que se ha identificado como adecuada para el proyecto. Con estos datos, se podrá decidir qué cantidad de mallas hay que instalar en el lugar.

En esta fase es crucial, la colaboración de la comunidad, pues muchas veces estos proyectos se llevan a cabo en lugares de difícil acceso, por lo que la gente local se debe encargar de la recogida de datos diaria y mantenimiento del testigo, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema durante el periodo de recogida de datos.

3. Instalación de las mallas atrapanieblas

Una vez se ha dimensionado la cantidad de metros cuadrados necesarios para abastecer de agua suficiente a la comunidad elegida, culmina el proyecto con la instalación de los atrapanieblas definitivos y su sistema de abastecimiento pertinente. A partir de este momento la gente de la zona dispondrá de una fuente limpia de agua.

Con esto concluye el trabajo de campo del equipo que ha realizado el proyecto, salvo algunas revisiones regulares y la sistematización de los datos de recogida de agua. Los locales pasan a ser los responsables de cuidar los elementos del sistema, para garantizar su correcto funcionamiento.

3- ANTECEDENTES

La escasez de agua es una crisis que lleva afectando a diversas partes del mundo a lo largo de los años, por lo que varios proyectos similares a este se han llevado a cabo con anterioridad. Este trabajo se ha podido ayudar de obras anteriores llevadas a cabo en otros lugares.

3.1- PRIMEROS PROYECTOS DE ATRAPANIEBLAS

A inicios del siglo XX comenzaron los primeros estudios de la potencialidad de recolección de agua de niebla, los primeros artículos científicos documentados se remontan a 1903, cuando el Dr. Marloth hizo una medición del agua que se podía llegar a recoger en Sudáfrica.

En la década de los 50, el Dr. Carlos Espinoza creó el primer prototipo de atrapanieblas para encontrar una solución al problema de abastecimiento de agua de su tierra natal, el desierto de Atacama, por este motivo se le considera como el precursor de las mallas atrapanieblas. Fue creando diseños hasta llegar al diseño conocido como el atrapanieblas macrodiamante, es un diseño que se inspira en la estructura atómica del diamante. Esta estructura revolucionó el mundo de la ingeniería y aportó una solución efectiva a la escasez de agua en zonas áridas.



Figura 3.1. Imagen del diseño macrodiamante diseñado por el Profesor Carlos Espinosa
(P. Cereceda)

Desde entonces, el diseño de las mallas atrapanieblas evolucionó al diseño que se utiliza en la actualidad, una pantalla de malla fijada por una estructura mucho más simple y efectiva que la del macrodiamante.

3.2- PROYECTO DE ICO Y ZABALKETA EN BOLIVIA

A lo largo de 2012 y 2013 la asociación Zabalketa llevó a cabo un estudio piloto en distintas localizaciones de Perú y Bolivia con el objetivo de determinar la viabilidad de la técnica de captación de agua procedente de la niebla por medio de mallas colocadas en las montañas. Este estudio lo realizaron junto con su socio local, el Instituto de Capacitación del Oriente (ICO). El Instituto de Capacitación del Oriente (ICO) es una asociación civil con fines no lucrativos, que realiza sus acciones a favor de la población de las provincias bolivianas de los Valles Cruceños, especialmente la que realiza labores productivas agropecuarias y de gestión del desarrollo de la región.

Los hallazgos y etapas del estudio están detallados en el artículo "Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación" (Zabalketa, enero 2014). El estudio reveló que los captadores instalados en zonas remotas de Bolivia, distantes de la costa y previamente consideradas poco prometedoras, lograron recoger cantidades significativas de agua, resultados que variaban de entre 5 a 15 litros por metro cuadrado y día ($l/m^2\cdot d$). Este descubrimiento ha ampliado las posibles ubicaciones para este tipo de proyectos más allá de las zonas costeras tradicionales, generando un impulso innovador para futuras iniciativas de reforestación.

Los captadores instalados en los Valles Cruceños bolivianos dieron buenos resultados y aprovechando la buena sintonía y el trabajo realizado junto con ICO, decidieron continuar colaborando en un nuevo proyecto. En enero de 2018, ICO, con el apoyo de la Asociación Zabalketa y la financiación de la Agencia Vasca de Cooperación al Desarrollo planteó un estudio de 'Identificación de zonas potenciales para la captación de agua de niebla' con el objetivo de elaborar propuestas de abastecimiento de agua, a través de una fuente alternativa que contribuya a dar soluciones al sentido problema de la sequía.

En 2018, se instalaron tres neblinómetros en diez localizaciones diferentes, en siete de ellas también se instalaron estaciones meteorológicas. El propósito fue realizar un estudio exhaustivo del comportamiento de la niebla en los Valles Cruceños, con el fin de identificar nuevos sitios óptimos para la captación de agua de niebla. Además, con la colaboración de las familias cercanas a los medidores, se recogieron datos sobre los períodos de niebla y del agua recogida por los neblinómetros. Estos datos podrían ser útiles para localizar nuevos lugares potenciales, así como para mejorar los rendimientos de los ya existentes.

El proyecto llevado a cabo por ICO y Zabalketa en los valles cruceños y la experiencia obtenida entonces, ha servido de base para estructurar este proyecto. Ambos proyectos comparten muchas similitudes, como la geografía y clima de la zona, el objetivo del proyecto y Zabalketa como parte del grupo de trabajo.



Figura 3.2. Imagen de los neblinómetros instalados en la comunidad boliviana de Chapas durante el proyecto de 2018. Fotografía de Zabalketa.

4- CONTEXTO

4.1- PERÚ

La república del Perú es un país situado en la costa pacífica de América del Sur, comparte fronteras con países como Brasil, Bolivia, Chile, Colombia y Venezuela. Tiene una población de alrededor de 34 millones de personas y la capital es Lima. Los paisajes del territorio son muy diferentes entre ellos, desde las escarpadas regiones andinas, la desértica zona costera, hasta un territorio en la selva amazónica. Es uno de los países con mayor diversidad biológica y mayores recursos minerales del mundo. Además, la gastronomía se destaca entre otras muchas como una de las más destacadas e importantes del mundo.

Perú tiene una historia rica y compleja que se remonta a civilizaciones antiguas como los incas, que construyeron el famoso complejo arqueológico de Machu Picchu. Antes de los incas, otras culturas como los mochicas, chimús y nazcas dejaron una profunda huella en el país. En 1532, el Imperio Inca fue conquistado por los españoles, quienes colonizaron la región durante casi tres siglos.

La economía de Perú, es una en desarrollo, la pobreza, la desigualdad, la sequía y la deforestación son unos de los mayores problemas que afronta el país. Sectores como la minería, la agricultura, el turismo y la pesca contribuyen significativamente al PIB del país. Perú es uno de los principales productores mundiales de metales como el cobre, el zinc y el oro, y su industria turística ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años debido a su riqueza cultural y natural.



Figura 4.1. Imagen del santuario histórico inca de Machu Picchu. Fotografía de Willian Justen en Unsplash.

4.1.1- CORDILLERA DE LOS ANDES

Los Andes, la cadena montañosa más larga del mundo, se extiende a lo largo de la costa occidental de América del Sur, abarca una extensión de más de 7,000 kilómetros desde Venezuela hasta Argentina, cruzando otros 5 países. Tiene una superficie de unos 2 870 000 km², y la altura media es de entre 3000 a 4000 metros sobre el nivel del mar. El pico más alto de la cordillera es el Aconcagua (6962 m), que es la montaña más alta del mundo que está fuera de Asia. Hoy en día, los Andes son una gran atracción turística gracias a destinos populares como Machu Picchu en Perú o el Parque Nacional Torres del Paine en Chile.

Forma parte del cinturón de fuego del Pacífico, por lo que es un territorio de gran actividad sísmica y repleto de volcanes, destaca la altura de los mismos, pues son los más altos del planeta tierra. La cordillera tiene una topografía impresionante, donde alberga una gran diversidad de biomas, desde selvas tropicales en las tierras bajas hasta glaciares en las altas cumbres. Esta variedad de hábitats proporciona un refugio para una amplia gama de flora y fauna, muchas de las cuales son endémicas de la región.



Figura 4.2. Foto del parque nacional de las Torres del Paine, Chile. Fotografía de Marc Thunis en Unsplash.

4.1.2- APURÍMAC

Apurímac es un departamento de la República del Perú situado en el sur del país, en la región andina. En quechua Apu Rimaq significa 'el dios que habla' u 'oráculo mayor'. La capital del departamento es Abancay.

Geológicamente, está situado en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes. Apurímac tiene una superficie territorial de 20 896 km². Su territorio es uno de los más escarpados del país. Es surcado de sur a norte por varios ríos a través de profundos cañones hasta su unión con el río Apurímac en una de las mayores depresiones de la región. La altitud promedio de la región es de 2 900 m s. n. m.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

La proyección del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) para el año 2011 demuestra que la población departamental fue de 449 365 habitantes. La mayor concentración poblacional se encuentra en las provincias de Andahuaylas (36,1 por ciento), Abancay (23,5 por ciento), Chincheros (12,8 por ciento) y Cotabambas (11,4 por ciento).

Las principales ocupaciones de la población son la agricultura, la ganadería y últimamente, está creciendo la industria de la minería. Todas las actividades se realizan de manera tradicional y a pequeña escala, no hay grandes productores. En el año 2011, según estimaciones del INEI, Apurímac aportó el 0,5 por ciento al Valor Agregado Bruto (VAB) nacional, ocupando el penúltimo lugar a nivel departamental.

Mayormente su clima es templado, aunque es variado de acuerdo a la altitud. Es cálido y húmedo en los cañones profundos del Apurímac, Pampas y Pachachaca; templado y seco en las altitudes medias; frío y de concentrada sequedad atmosférica en la alta montaña; y muy frío en las cumbres nevadas. La variación de la temperatura es muy significativa y aumenta con la altitud.

Una vez lejos de las urbes de mayor población de la región, los habitantes apurimeños habitan en pequeñas comunidades esparcidas por los extensos valles andinos, desde las zonas más bajas hasta las cumbres menos escarpadas. Las casas en estas comunidades suelen estar desperdigadas alrededor del terreno, sin formar un núcleo urbano aparente. Los edificios son artesanales, y es que la gran mayoría de ellos están hechos de paja piedra y tierra, con techos de chapa metálica o ramas. Suelen tener acceso a la corriente aunque no siempre es el caso y a menudo no hay señal telefónica. Los habitantes de estos pequeños poblados se dedican, en su gran mayoría, a la agricultura y a la ganadería, sin embargo, suele ser para consumo propio. En época de sequía, lo habitual es que se vean cortes en el suministro de agua potable prácticamente a diario.



Figura 4.3. Imagen de los comuneros de Fátima recibiendo una clase de la optimización del uso del agua. Imagen de autoría propia.

4.1.3- CÁRITAS ABANCAY

Cáritas Abancay es una Organización No Gubernamental de Desarrollo, que pertenece a la Diócesis de Abancay, miembro de la Red de Cáritas del Perú. Asimismo, integrante de la Cáritas Internationalis; coordinadora de la labor social de la Iglesia Católica en el mundo entero.

Cáritas Abancay ejecuta programas y proyectos de cooperación al desarrollo. Sus principales acciones, están orientadas a impulsar el desarrollo humano sostenible, a través de la realización de actividades vinculadas a los sectores de salud y agropecuario. Para ello, tiene como punto de partida, la seguridad alimentaria y la protección del medio ambiente. Otra actividad fundamental es la canalización de ayudas humanitarias y distintos proyectos para los damnificados en casos de emergencia.

5-METODOLOGÍA

5.1- ESTUDIO DE LAS ZONAS

La fase de selección de zonas potenciales para la instalación de testigo para el proyecto de mallas atrapanieblas se llevó a cabo completamente por el equipo de Cáritas Abancay. A la hora de elegir los lugares indicados para realizar el estudio, priorizaron zonas en las que ya realizaban visitas con anterioridad debido a que realizan otros proyectos en esos lugares, con el fin de aprovechar las salidas al campo y avanzar en múltiples proyectos simultáneamente. Además, se estableció como condición que las comunidades no estuvieran involucradas en actividades mineras, debido a experiencias previas de conflicto con estas. A parte, buscaban comunidades en el que la presencia de agua potable fuese escasa y donde los comuneros estuviesen motivados con el proyecto para participar en el proyecto en colaboración con Cáritas Abancay. Por último, también debían ser lugares montañosos dónde la niebla fuese muy común para que la captación de agua de rocío sea adecuada, este último requisito habitualmente se decide mediante los resultados obtenidos por diferentes estaciones meteorológicas, pero en este caso, sólo en una de las comunidades hay instalada una estación de Cáritas Abancay, de la que es posible ver las condiciones meteorológicas de la zona. En el resto, como las condiciones meteorológicas son muy parecidas, no vieron necesario hacer la instalación de más estaciones. El único parámetro que no es similar en todas las comunidades es la de la dirección del viento, pues cada comunidad se sitúa en diferentes partes de los valles y el viento llega de partes distintas. Tras completar el estudio y después de realizar algunos cambios, determinaron que instalarían los neblinómetros en las siguientes comunidades: Pucuta, Occoruro, Concacha y Ccocha. Todas ellas están en la zona distrital de Curahuasi y todas están relativamente cerca al menos a una de las otras comunidades.



Figura 5.1. Imagen de la localización de las comunidades respecto a Abancay, Google Maps.

5.1.1- OCCORURO

Occoruro (-13.538520, -72.745899) es una comunidad del distrito de Curahuasi en la provincia de Abancay, Apurímac. Tiene aproximadamente 150 habitantes. La localidad se encuentra a una altura aproximada de 3200 metros, situada en una de las montañas que conforman el valle que rodea a Curahuasi. La comunidad crece alrededor de la carretera que conecta Cusco con Abancay y otras ciudades, como Ayacucho o Lima. El viaje hasta Occoruro desde la capital de Apurímac es de algo más de una hora. El pueblo se dedica principalmente a la cosecha del trigo y a la ganadería, aunque hay una gran gasolinera en medio del núcleo.



Figura 5.2. Vistas desde la montaña que queda encima de la comunidad de Occoruro.

Fotografía de autoría propia.

5.1.2- CONCACHA

Con cerca de 100 habitantes, Concacha (-13.550885, -72.801605) es una comunidad del distrito de Curahuasi en la provincia de Abancay, Apurímac. Situada a una altura media de 3600 metros, es un pequeño centro poblado entre Abancay y Curahuasi, próximo a uno de los atractivos turísticos de la provincia, la piedra arqueológica de Saywite. Tiene un mirador junto a la carretera con varios puestos de comida desde el que se pueden ver las increíbles vistas de los picos más altos de la región. Estando a poco más de una hora de trayecto en coche de Abancay, es la comunidad más próxima a la ciudad principal de la provincia.



Figura 5.3. Vistas a las montañas desde el mirador de la comunidad de Concacha.
Imagen de autoría propia.

5.1.3- CCOCHA

Ccocha (-13.602674, -72.649430) es una comunidad del distrito de Curahuasi en la provincia de Abancay, Apurímac. Tiene alrededor de 80 habitantes, haciéndola la comunidad más pequeña. Con una altura de alrededor de 3700 metros, el poblado rodea la laguna de la que hereda su nombre. Está a más o menos una hora y media de Curahuasi en coche por caminos de montaña, de hecho, está de camino a la comunidad de Pucuta.



Figura 5.4. Paisaje del lago Ccocha y las montañas visto desde la parte más alta de la comunidad.
Imagen de autoría propia.

5.1.4- PUCUTA

Pucuta (-13.675400904811871, -72.49462262897214) es una comunidad del distrito de Curahuasi en la provincia de Abancay, Apurímac. La localidad se encuentra a 3800 metros de altura, colocada en una de las faldas del cerro Pucuta. Tiene alrededor de 100 habitantes. Para llegar a Pucuta desde Curahuasi hay que realizar un viaje en coche de 4 horas por caminos de montaña no asfaltados, por lo que se considera una zona muy remota. En Pucuta y las comunidades colindantes, Cáritas Abancay lleva trabajando años, realizando proyectos de sistemas de abastecimiento de agua, de mantenimiento de reservas de patrimonio natural (REPANAS), por lo que es una zona que suelen visitar muy a menudo. En esta comunidad es en la que el equipo de Cáritas Abancay tiene instalada una estación meteorológica.



Figura 5.5. Fotografía de Pucuta desde lo alto de la montaña. Imagen de autoría propia.

5.1.5- ESTUDIO METEOROLÓGICO DE PUCUTA

En Pucuta, el equipo de Cáritas Abancay ha estado recogiendo datos meteorológicos desde enero del 2023, gracias a una estación meteorológica que instalaron en la comunidad. La estación recoge cada hora la temperatura, dirección y velocidad del viento, la precipitación y la humedad relativa. En la siguiente tabla refleja la información recogida entre enero de 2023 a junio de 2023.

Posición estación meteorológica: -13.677288, -72.498268

	Temperatura media (C°)	Temperatura MÁX/mín (C°)	Dirección del viento	Velocidad del viento media (km/h)	Velocidad del viento MÁX (km/h)	Precipitación acumulada (mm)	Humedad relativa (%)
ENERO	9,87	22,5 / 1,23	W	2,32	9,66	38,1	19-97
FEBRERO	9,16	21,5 / 0,47	W	2,32	8,85	28,3	19-98,5
MARZO	9,44	21,4 / 0,2	WN	1,92	9,66	53,3	17-97,5
ABRIL	9,1	21,7 / 1	E	2,11	8,05	37,5	27-95
MAYO	5,85	18,72 / -3,7	WS	1,98	9,66	22,6	19-98,6
JUNIO	6,12	18,2 / -2,5	NNW	2,46	8,05	3,1	27-83

Figura 5.6. Tabla con datos climatológicos de la comunidad de Pucuta.

Como se puede apreciar en la figura 5.6 la dirección predominante del viento es la del oeste. También se puede observar como el gradiente de temperatura es bastante grande, esto se debe a que aún siendo una zona calurosa, como está a tanta altura por las noches la temperatura baja considerablemente. Resulta destacable como el mes junio es claramente un mes mucho más seco que el resto, pues la humedad relativa baja y apenas llueve. En esta región suelen separar las estaciones en la de lluvias y la de sequía, y los meses de sequía suelen comenzar en mayo. Aún así, es visible como a falta de lluvia, la humedad relativa sigue siendo alta.

5.2- MALLAS CLOUDFISHER

Aqualonis es una empresa alemana con origen en la ciudad de Munich, y es la creadora de las mallas que se han utilizado en este proyecto, las mallas CloudFisher. Estas mallas las han desarrollado junto con WaterFoundation, una ONG, también de origen alemán, que da apoyo a regiones que sufren la escasez de agua, habiendo realizado proyectos de captación de agua de rocío en varias partes del mundo.

Las mallas CloudFisher son un tejido diseñado específicamente para la captación de agua de rocío. Tienen un diseño 3D, que recuerda a la estructura de un panal de abejas, y tienen una gran densidad de hilos. Este diseño ha demostrado una mejora en la eficiencia respecto a modelos anteriores a la hora de captar agua de niebla, esto se debe a la porosidad de la red de malla que tiene el tamaño suficiente para que las gotas se queden en la red mientras que el aire es capaz de atravesarla. Además, las mallas están hechas de polietileno de alta densidad, siendo un material resistente y duradero. La malla tiene otra red de plástico duro que evita que la malla ceda al viento y eche las gotas de agua fuera de la canaleta.

Gracias a la buena relación entre la organización Zabalketa y Water Foundation, y su colaboración en proyectos de Cáritas Abancay como el de Reservas de Patrimonio Natural (REPANAS), fue posible la entrega de 8 mallas atrapanieblas de un metro cuadrado de tecnología CloudFisher a las oficinas de Cáritas Abancay, para utilizar en estudio de zonas potenciales para la captura de agua en la región de Apurímac. En este caso a Cáritas no le supone ningún tipo de gasto la obtención de las mallas, aunque tampoco les es posible conseguir las CloudFisher, a no ser que estas organizaciones lleguen a donar algunas más.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

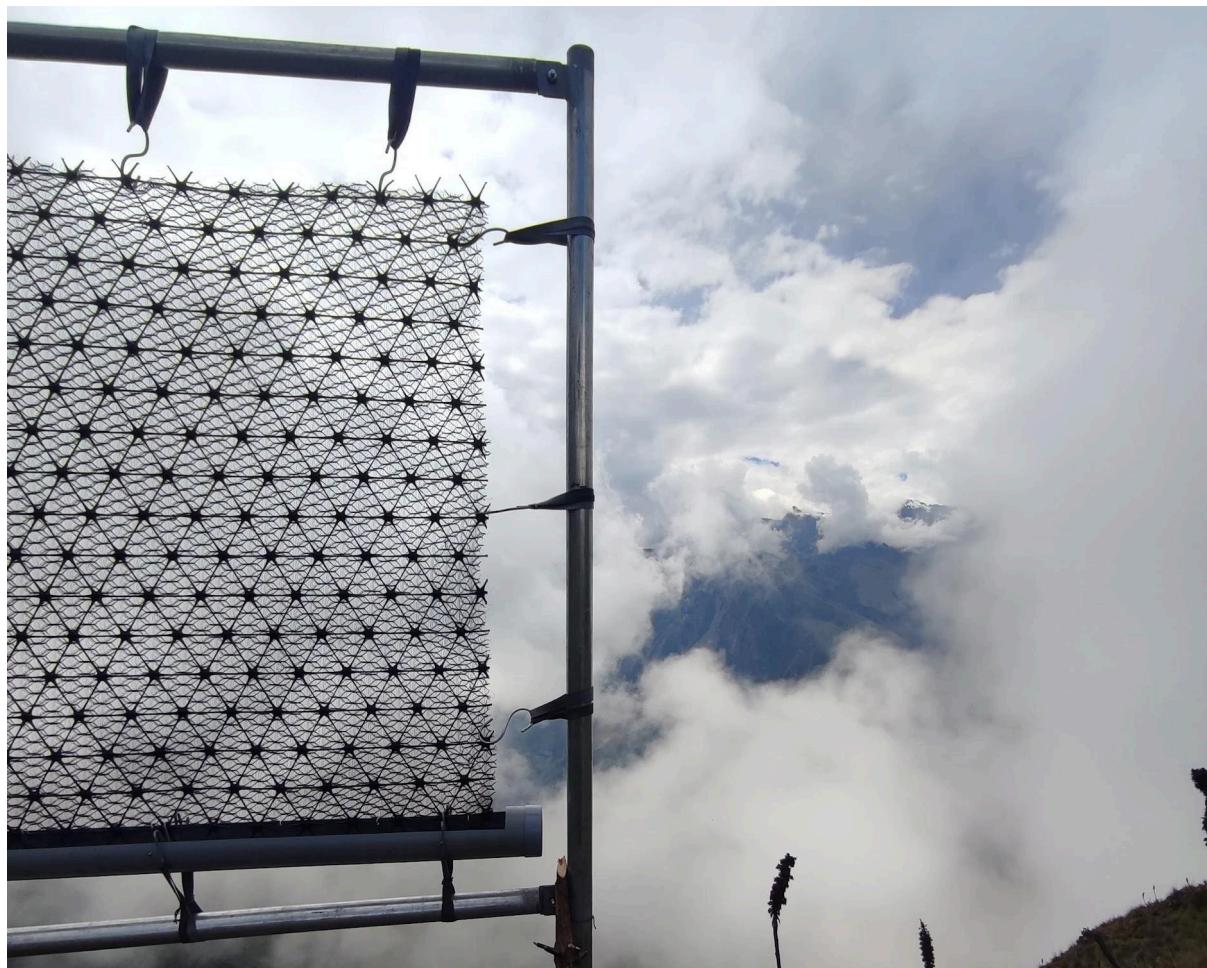


Figura 5.7. Imagen de una malla CloudFisher en Perú, elaboración propia.

5.3- DISEÑO DE LOS NEBLINÓMETROS

En la fase previa a la instalación de las mallas, era necesario preparar un diseño previo para poder presentar el proyecto y empezar a contactar a diferentes talleres de la zona para hacer una consulta sobre los presupuestos de la estructura. Era necesario que el diseño no fuese muy costoso y que a la vez fuese resistente, es por eso que se decidió usar barras de acero, pues eran mucho más resistentes que otras alternativas más baratas. En esta fase, se consideró que era una buena idea crear un modelo de neblinómetro que se pueda desmontar, mediante el uso de pernos, así una vez acabada la fase de estudio en una zona se puede llevar el testigo a otro lugar. Viendo los modelos de neblinómetro que se utilizaron en el proyecto de Zabalketa e ICO en los Valles Cruceños de Bolivia, se observó que la opción de usar gomas para tensar la malla a la estructura metálica era una gran idea, pues aparte de evitar el coser la malla al marco que puede llegar a dañar el tejido plástico que se encarga de captar las gotas de agua de la niebla, también minimizaba el efecto del viento sobre la malla, evitando que estas gotas puedan desperdiciarse.

Para asegurar la estabilidad de la estructura, se decidió utilizar alambres tensores contra la fuerza de los fuertes vientos y algo de cimentación, para evitar que en algún momento la estructura se llegue a caer. En cuanto al depósito de recogida de agua, se escogió un cubo de unos 30 litros que estuviese dimensionado para hacer más simple la recogida de datos. El primer diseño, que no era definitivo, se hizo mediante el software AutoCAD donde el equipo de Cáritas dibujó un primer boceto con sus respectivos planos, que son los siguientes:

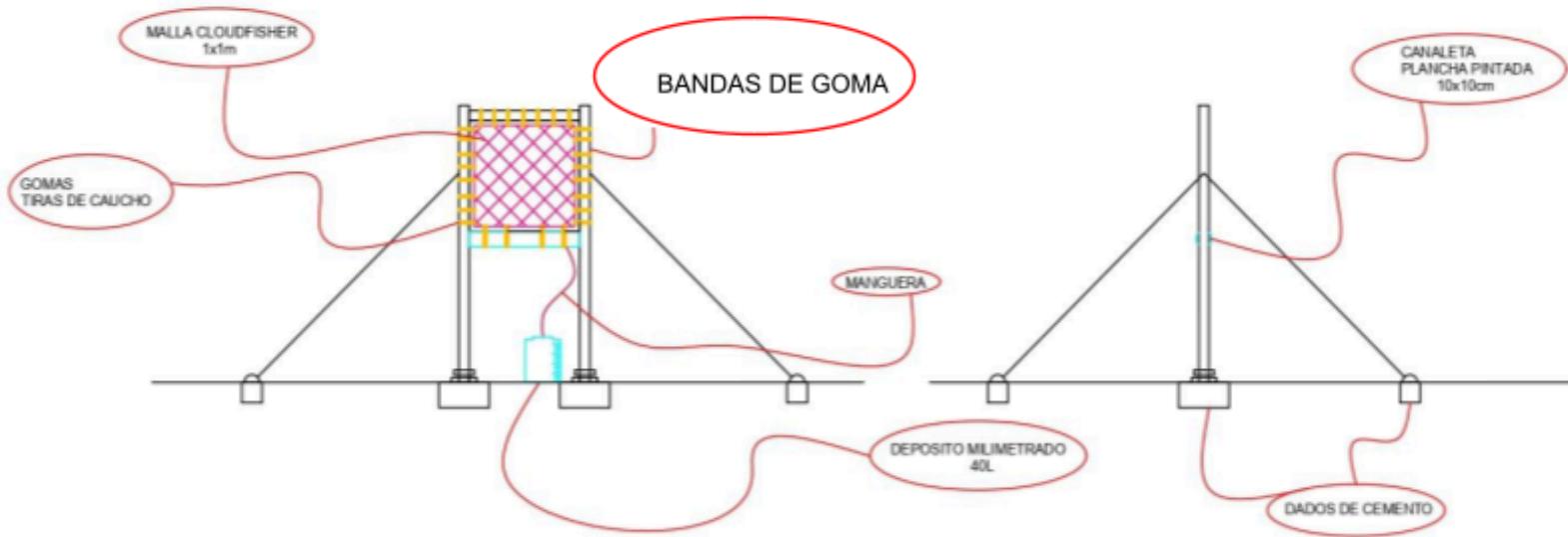


Figura 5.8. Diseño CAD inicial que se consideró para los neblinómetros. De elaboración propia.

La estructura, como se muestra en la imagen, está compuesta por barras de acero verticales y horizontales que se unen mediante pernos para formar un marco. Este marco sostiene una malla que es tensada con gomas elásticas enganchadas en ganchos en forma de S. En la parte inferior del marco se encuentra una canaleta de unos 20 cm de diámetro y 1,2 metros de largo que dirige el agua captada hacia un depósito graduado a través de una manguera. Además, se utilizan alambres como tensores para asegurar la estabilidad de la estructura contra el efecto de vientos no esperados.



Figura 5.9. Fotografía del detalle de los ganchos y la canaleta. Imagen de elaboración propia.

El pedido final que se hizo fue el siguiente:

	CANTIDAD POR MALLA	TOTAL
BARRAS DE ACERO 2,5 M	2	16
BARRAS DE ACERO 1,2 M	2	16
CANAleta	1	8
TUBO DE PLÁSTICO	1	8
CUBO MILIMETRADO	1	8
GOMAS ELÁSTICAS	12	96
GANCHOS EN S	9	72
GANCHOS EN ZIG-ZAG	3	24
PERNOS	12	96

Figura 5.10. Lista de los elementos para la estructura de los neblinómetros.

5.6- PRESUPUESTO

Una vez decidido cómo serían los testigos de mallas atrapanieblas, se consultó en el taller de confianza de Cáritas Abancay el precio del montaje de 8 neblinómetros. El taller se tenía que encargar de conseguir los materiales necesarios para que el equipo pudiese llevar a cabo la instalación en las distintas localizaciones seleccionadas y de llevar a cabo los trabajos necesarios para tener el material preparado, como soldar algunas partes metálicas a otras. El importe total del taller por los 8 testigos fue de 5600 soles, que haciendo el cambio de moneda a euros queda en unos 1358 euros, ya que un euro son más o menos unos 4 soles. En este monto de dinero ya están incluidos tanto el precio de los materiales como el de la mano de obra de los trabajadores del taller. Dividiendo el importe total por la cantidad de neblinómetros fabricados, el costo unitario de cada elemento es de 700 soles, que son alrededor de 175 euros, un precio bastante asequible para lo útiles que son estas mallas.

5.4- RECOGIDA DE DATOS

Para poder definir cuántos metros cuadrados de malla atrapanieblas hay que instalar en una comunidad, es necesario hacer una lectura analítica de los datos obtenidos durante la fase de estudio de potencialidad. Este análisis de los resultados es necesario que sea lo más preciso posible, pues sólo así se podrá remediar el problema de la manera óptima, y de lo contrario, podría incluso no llegar a solucionarse la falta de agua potable en la zona. Por ejemplo, en una comunidad se registra una mayor recogida de agua que la que en realidad se está captando. Se decide que el lugar es apropiado para abastecer la comunidad mediante el uso de las mallas atrapanieblas, y que para proveer de agua a la población del lugar hace falta una cantidad concreta de metros cuadrados de malla. Como los datos obtenidos no reflejan la realidad, a la comunidad no le sería suficiente con la cantidad de agua que reciben.

Si los datos que se analizan no son correctos, las decisiones que se tomen en base a estos tampoco podrán serlo. Es por esta razón que, para poder darle una solución al problema hídrico que sufren las familias de estos pueblos de las altas montañas, es imprescindible que la recogida de datos sea de la mayor exactitud posible. El almacenamiento de información debe ser eficiente y continuo. Para poder saber con precisión el potencial de recogida de agua de rocío de las mallas, no basta con únicamente ir a ver cuanta agua recogen los neblinómetros de vez en cuando, hay que hacer un seguimiento diario, así se evitan imprecisiones provocadas por la evaporación del agua en los días calurosos o por las lluvias que representar una mayor cantidad de agua recogida.

Por estos motivos, se recogerán los siguientes datos de forma diaria en cada zona de estudio:

- Cantidad de agua captada
- Presencia de lluvia en algún momento del día y su duración e intensidad
- Presencia de niebla en algún momento del día y su duración e intensidad
- Cortes al suministro de agua en la comunidad

Los encargados de recoger toda esta información son los mismos comuneros, que tienen hojas con tablas en la que pueden registrar todos los datos de forma organizada. Los comuneros se responsabilizarán de llevar a cabo esta tarea cada día. Como el equipo de Cáritas Abancay suele visitar estos pueblos a menudo, los datos los recogerán prácticamente cada semana. La sistematización de la información se hará mediante el uso de una aplicación móvil diseñada por Zabalketa, donde se facilita el registro de cada uno de los datos diarios por comunidad. En resumen, los comuneros se encargan de recoger los datos requeridos diarios en un cuaderno, para que Cáritas Abancay recoja la información de forma semanal y después, la introduzcan en la aplicación móvil desarrollada por Zabalketa. La información se almacena en una base de datos, desde la que se puede descargar los datos en forma de Excell.

A la hora de recoger los datos a diario, es fundamental la participación activa de la propia comunidad. Son otra parte responsable y vital para que el proyecto siga adelante, es por eso que se debe definir en cada comunidad quienes serán los que se encarguen de recoger la información y asegurarse de que llegue a las manos del equipo de Cáritas Abancay.

Cabe mencionar que la aplicación al principio no estaba funcionando de la forma debida, pues aún pudiendo registrar la información del día, luego no se podía acceder a la información mediante la base de datos en la que debería guardarse.

5.5- ALTERNATIVAS

Durante la fase previa a la instalación de las mallas y recogida de los primeros datos, se llevó a cabo el proceso de diseño de la estructura para las mallas. Mientras se decidían las características propias de los testigos de atrapanieblas surgieron diferentes opciones para dar solución a las diferentes necesidades que presentaba el proyecto. Estas variaciones se daban con el fin de abaratar los costes de producción de los neblinómetros o para poder seguir produciendo estos elementos de forma independiente sin depender de la ayuda externa de otras organizaciones.

En este proyecto fue la organización alemana de WaterFoundation quienes aportaron las mallas CloudFisher. Estas mallas además de tener un alto precio para Cáritas Abancay, no se pueden encontrar en ninguna parte de Latino América, lo que hace mucho más difícil su obtención y encarece todavía más sus precios, pues también habría que asumir los gastos de transporte y los aranceles, haciendo así casi imposible utilizar esta tecnología de mallas atrapanieblas, a no ser que sean enviadas por alguna otra organización.

5.5.1- MALLAS RASCHEL

En este proyecto se utilizarán las mallas CloudFisher que son creadas por la empresa alemana Aqualonis, pero en este caso, han sido donadas a Cáritas Abancay. Por lo que no ha tenido que responsabilizarse de los gastos de los materiales y transporte desde Europa. Estos gastos llegan a unas cotas tan altas que la ONG católica no se puede llegar a permitir el uso de esta tecnología, excepto que se vuelva a hacer una entrega de nuevas mallas por parte de organizaciones exteriores, dependiendo en la capacidad de estas y su interés en esta región y en el proyecto de reducción de escasez de agua potable. Es por estas razones que es más que interesante el poder buscar tejidos alternativos para que Cáritas Abancay sea capaz de seguir levantando neblinómetros en nuevas poblaciones para seguir con el estudio de captación de agua de rocío. Para esto era necesario que el material alternativo a utilizar, que debe ser adecuado para la recogida de gotas de agua de la niebla, fuese relativamente barato y que fuese fabricado y distribuido en la zona. De esta forma, a Cáritas Abancay le resultaría bastante sencillo obtener las mallas que necesiten en sus futuros estudios. También resulta muy interesante instalar neblinómetros de CloudFisher y de malla Raschel en el mismo lugar para poder hacer una comparación en la eficiencia que presentan ambos tejidos a la hora de recoger agua de niebla.

Las mallas Raschel, o mallas semisombra, son un tipo de tejido de punto por trama que tiene una gran diversidad de aplicaciones, desde campos como la agricultura hasta a la construcción, esto se debe gracias a su durabilidad y versatilidad. Hay muchos tipos de mallas Raschel que varían en tamaño, densidad e incluso en el color del tejido. Unas de las muchas ventajas que presentan estas mallas es su bajo precio, su fácil mantenimiento y su resistencia a efectos naturales como la radiación solar, pues no degrada su calidad con la exposición al sol, lluvia y otros fenómenos naturales.

En la agricultura se utiliza para crear redes de sombra, para evitar la exposición solar directa de ciertas plantas, mientras que permite la circulación del aire a través de la malla para mantener la ventilación correcta de los vegetales.

En el ámbito de la construcción se utiliza como red de seguridad principalmente, tanto en andamios para evitar la caída de objetos y escombros, como en el perímetro que cerca la zona de obras. Y es que es habitual ver en cualquier zona en obras de las ciudades vallas cubiertas con este tipo de mallas Raschel.

Este material resulta tan versátil que también es posible encontrarlo en ropa de deporte y otras prendas que necesitan ser algo flexibles, elásticas y transpirables. Incluso se producen manteles y demás objetos decorativos de hogar.

5.5.2- ESTRUCTURA DE EUCALIPTO

El eucalipto, de nombre científico de *Eucalyptus*, es un género de árboles que es originario de Australia y otras áreas de Oceanía, como Tasmania. Aun así, han sido introducidas y plantadas en gran parte del resto del mundo, incluido en la zona andina de Perú. Los eucaliptos son árboles delgados de tronco claro y hojas azuladas, que son capaces de llegar a unos 60 metros de altura, hay varias especies diferentes de eucalipto, inclusa a la que denominan eucalipto arcoíris (*Eucalyptus deglupta*) por la gran variedad de colores que presenta su corteza. Su expansión a otras regiones del globo terráqueo se debe a la gran adaptabilidad a diferentes condiciones que ofrecen las diferentes especies de este género arbóreo y por el valor de su madera, que es muy resistente y de baja degradación, las aplicaciones medicinales del aceite que se extrae del árbol y por motivos de reforestación de varias regiones.

En el caso de Perú, al igual que en otros muchos países de Sudamérica, esta familia de árboles fue introducida desde Australia a mediados del siglo XIX. Para darle una solución a la deforestación y problemas de erosión de la tierra y desprendimientos que sufría el país empezaron con el proceso de plantación de eucaliptos en el territorio peruano, a parte se buscaba impulsar la economía local con la venta y distribución de la madera de estos árboles. La adaptación de estas especies fue especialmente positiva en las zonas costeras y en las zonas andinas. Es por eso que hoy en día es muy común encontrar arboledas de eucaliptos en Apurímac y ha traído grandes beneficios a la zona. Aun aportando tantos beneficios, también ha generado algo de desacuerdo con su implementación, porque son especies que consumen una gran cantidad de agua y no son del todo compatibles con algunas especies de animales, por esta razón, hay países que lo consideran una especie invasiva.

Después de más de un siglo de presencia de estos árboles en los paisajes de los Andes peruanos, la madera de eucalipto es realmente sencilla de conseguir y barata. Por sus características, especialmente su resistencia, es un material que se propuso como una alternativa menos costosa al uso de las barras de acero para completar el marco que hace de estructura para la malla que recoge el agua de rocío. En cuanto a calidad precio, es de un valor extremadamente alto, pues aunque no aporten tanta durabilidad como las barras de acero, los rollizos de eucalipto son capaces de cumplir su función a un precio mucho más bajo.

El uso de la madera de eucalipto se descartó por dos motivos que eliminaban esta opción como la ideal. La primera se trata de que no encajaba con el concepto de hacer un diseño que se pueda montar y desmontar en cualquier lugar. La madera es pesada y gruesa, haciéndola realmente incómoda para transportar de un lugar a otro, y sobre todo, hoy en día es realmente sencillo conseguir barras de acero que se puedan unir mediante el uso de pernos, mientras que la madera o la unes de formas más primitivas y endebles, o encarecer su precio para que un carpintero trabaja en los encajes de la estructura. La segunda razón que desestimó el uso de madera de eucalipto fue la falta de durabilidad en comparación con las barras metálicas. La madera de eucalipto aunque degrada muy poco para el material que es, no es ideal para ciclos de vida de más de un año, mientras que el acero será útil por mucho más tiempo.



Figura 5.11. Un escarabajo *Catoxantha opulenta* sobre la corteza de un eucalipto arcoíris,
imagen de National Geographic España / Getty Images

6- RESULTADOS

Actualmente, dado que los testigos de mallas atrapanieblas llevan apenas dos meses en funcionamiento, no han recogido la cantidad suficiente de información como para poder hacer un análisis en condiciones. Es por eso que se tiene los siguientes resultados:

- Se identificó las 4 zonas para la instalación de los neblinómetros para llevar a cabo el estudio.
- Se ha sistematizado el proceso de recogida de datos de los neblinómetros en coordinación con las autoridades de cada comunidad, y se han creado fichas de información de cada comunidad.
- Se hizo la instalación de los diferentes neblinómetros en cada zona.

6.1- INSTALACIÓN DE LOS NEBLINÓMETROS

Antes de empezar con la instalación de los testigos de mallas atrapanieblas, había que darle el visto bueno al diseño propuesto y al precio a pagar por ello. Cómo el diseño era bastante sencillo y poco costoso, no hubo problemas para confirmar el pedido de los materiales al taller. A partir de este momento, se empezó a organizar la forma en la que se llevaría a cabo la instalación de los neblinómetros en las diferentes comunidades. Se decidió que la mejor forma de organizar las salidas a campo era realizando las instalaciones agrupando las comunidades en 2 visitas diferentes. El equipo de Cáritas realizó salidas a las comunidades para realizar las instalaciones de los neblinómetros en dos ocasiones, a Occoruro y Concacha en el 19 de abril, y a Pucuta y Ccocha en los días 02 y 03 de mayo. Esto se debe porque el viaje para llegar a Pucuta es largo, y Ccocha está de camino, mientras que Occoruro y Concacha son poblados que están cerca de Abancay.

Con previa antelación a las visitas a las diferentes comunidades en las que se colocarían los neblinómetros, el equipo de proyectos de Cáritas Abancay se ponía en contacto con las autoridades del lugar, a las que se informaba de los detalles de la fecha de llegada del equipo de la oficina y para acordar con ellos la participación de un grupo de comuneros en las fases de transporte de los materiales e instalación del par de testigos de atrapanieblas.

Como hasta los lugares elegidos no llegaba la carretera, no era posible acercar el coche lo suficiente, por lo que había que caminar cargando las barras y demás elementos de la estructura, por esta razón, era necesaria la ayuda de los comuneros. Por otra parte, hacían falta algunas herramientas, especialmente para poder cavar los agujeros para levantar las estructuras, y para romper piedra si el terreno era rocoso. Se les pedía a los comuneros que trajeran un pico y una barreta.

Cabe mencionar que, a la hora de pedir los materiales al taller se pasó por alto los alambres que se utilizarían como tensores metálicos. Tampoco se pudo aplicar una cimentación a la estructura, ya que se pidió a las comunidades la aportación de cemento, pero ninguna pudo hacer la contribución, es decir, los neblinómetros no tienen ningún tipo de sujeción, más que el de la tierra y las piedras que se colocaban de forma que le diesen rigidez a la estructura. Por lo que los neblinómetros instalados no eran totalmente fieles al diseño anteriormente presentado.

6.1.1- OCCORURO

La instalación se llevó a cabo por el equipo de Cáritas Abancay junto con la ayuda de las autoridades de la comunidad, un total de 6 comuneros. El lugar elegido para la colocación de las mallas fue en las zonas altas de la montaña en la que se ubica Occoruro, a una distancia de unos 2 kilómetros de la comunidad y una diferencia de altura aproximada de 800 metros. Las mallas se encuentran en el borde de la depresión agresiva de la montaña que baja hasta el cañón del río Apurímac que hace de frontera de la provincia con el mismo nombre y Cusco. Cada malla tiene una orientación distinta pues están en partes diferentes del filo del precipicio, a unos 15 metros de distancia la una de la otra. Por esta razón, y por la orografía del terreno, los vientos que les incidirán son distintos, así trayendo cantidades diferentes de niebla a cada uno de los testigos, hecho muy interesante para hacer comparación. No hubo demasiados problemas a la hora de la construcción y levantamiento de la estructura.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



Figura 6.1. Imagen de uno de los neblinómetros instalados en Occoruro. Imagen de autoría propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



Figura 6.2. Fotografía de uno de los neblinómetros en Occoruro. Imagen de autoría propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

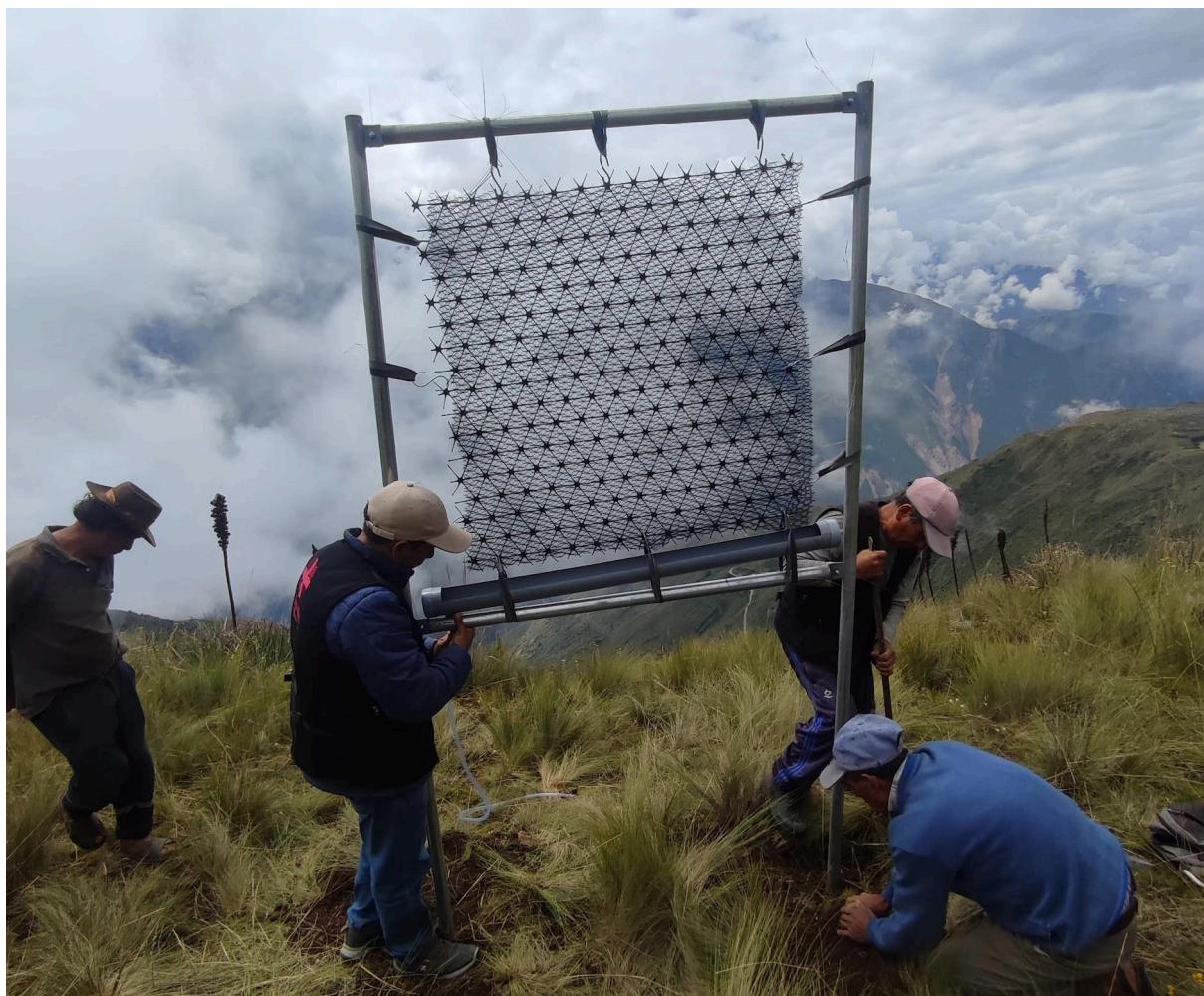


Figura 6.3. Fotografía de la instalación de un neblinómetro en Occoruro. Imagen de autoría propia.

6.1.2- CONCACHA

En este caso, fueron 3 los comuneros que ayudaron en el proceso de instalación de los testigos. Las mallas, esta vez se encuentran mucho más cerca de la población, a no más de 500 metros y muy cerca de la carretera. La diferencia de altura tampoco es elevada, apenas supera los 200 metros. La zona en la que se han puesto los neblinómetros es una ladera en la zona alta de la montaña. Las mallas otra vez, tienen una pequeña diferencia en la dirección en las que se han levantado, pero esta vez, no ha sido por el terreno, si no por estudiar la diferencia en cantidad captada por una malla y otra. No había apenas piedras en el suelo resultando en un trabajo rápido y simple.

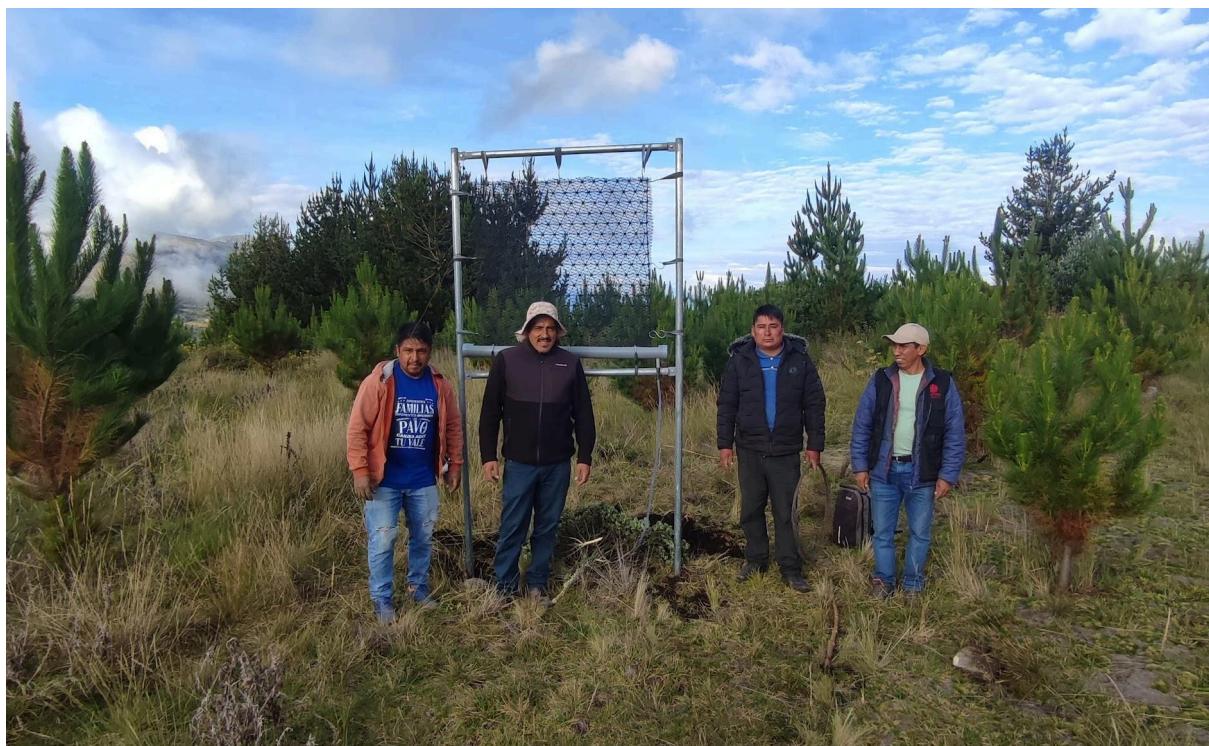


Figura 6.4. Fotografía de los comuneros de Concacha y del equipo de Cáritas posando junto con uno de los testigos de mallas atrapanieblas. Imagen de autoría propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

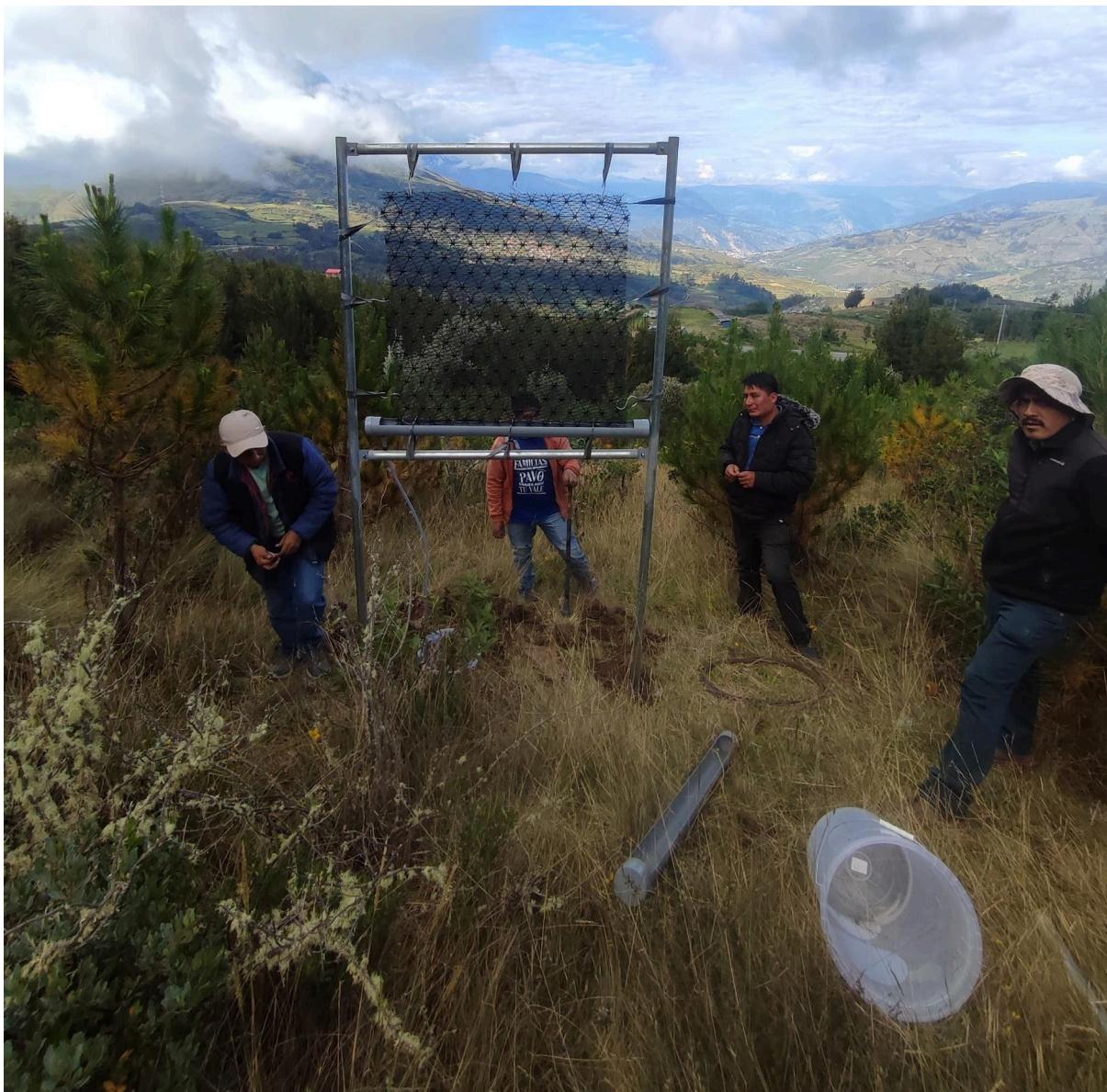


Figura 6.5. Fotografía de la instalación de un neblinómetro en Concacha. Imagen de autoría propia.

6.1.3- PUCUTA

La comunidad de Pucuta se sitúa en el cerro que le da su nombre, está en la zona de la alta montaña, rocosa y escarpada, a unos 3800 metros de altura. La agresividad del terreno, aunque las mallas no están lejos del poblado, hace que se tarde bastante caminando hasta ellas, la distancia es de unos 300 metros y una diferencia de altura de 200 metros. En Pucuta sólo un comunero acompañó a Cáritas Abancay en las labores de instalación de los neblinómetros, y este proceso fue más complicado que en otros lugares, pues las rocas no agilizan el trabajo de hacer un hoyo para levantar la estructura. En este caso, los neblinómetros están puestos en la falda de la montaña a una distancia de unos 5 metros entre el uno y el otro. Tienen una dirección muy parecida, pero sí que hay una pequeña variación para ver cual tiene un mejor rendimiento.



Figura 6.7. Fotografía de la instalación de un neblinómetro en Pucuta. Imagen de autoría propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



Figura 6.8. Fotografía de la instalación de un neblinómetro en Pucuta. Imagen de autoría propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



Figura 6.9. Fotografía de la instalación de un neblinómetro en Pucuta. Imagen de autoría propia.

6.1.4- CCOCHA

En Ccocha el grupo encargado de la instalación fue el equipo de Cáritas junto a 2 personas de la comunidad. La instalación se llevó a cabo en la colina que asciende desde el poblado, a una diferencia de altura de unos doscientos metros y a una distancia de otros tantos. Esta vez, las mallas están a unos 20 metros la una de la otra, para poder abarcar la zona, que es una zona muy amplia. El trabajo de instalación de los neblinómetros no fue muy sencillo, porque había partes en las que no se podía cavar un hoyo por culpa de las piedras, y hubo que encontrar un lugar en el que la tierra fuese más blanda.

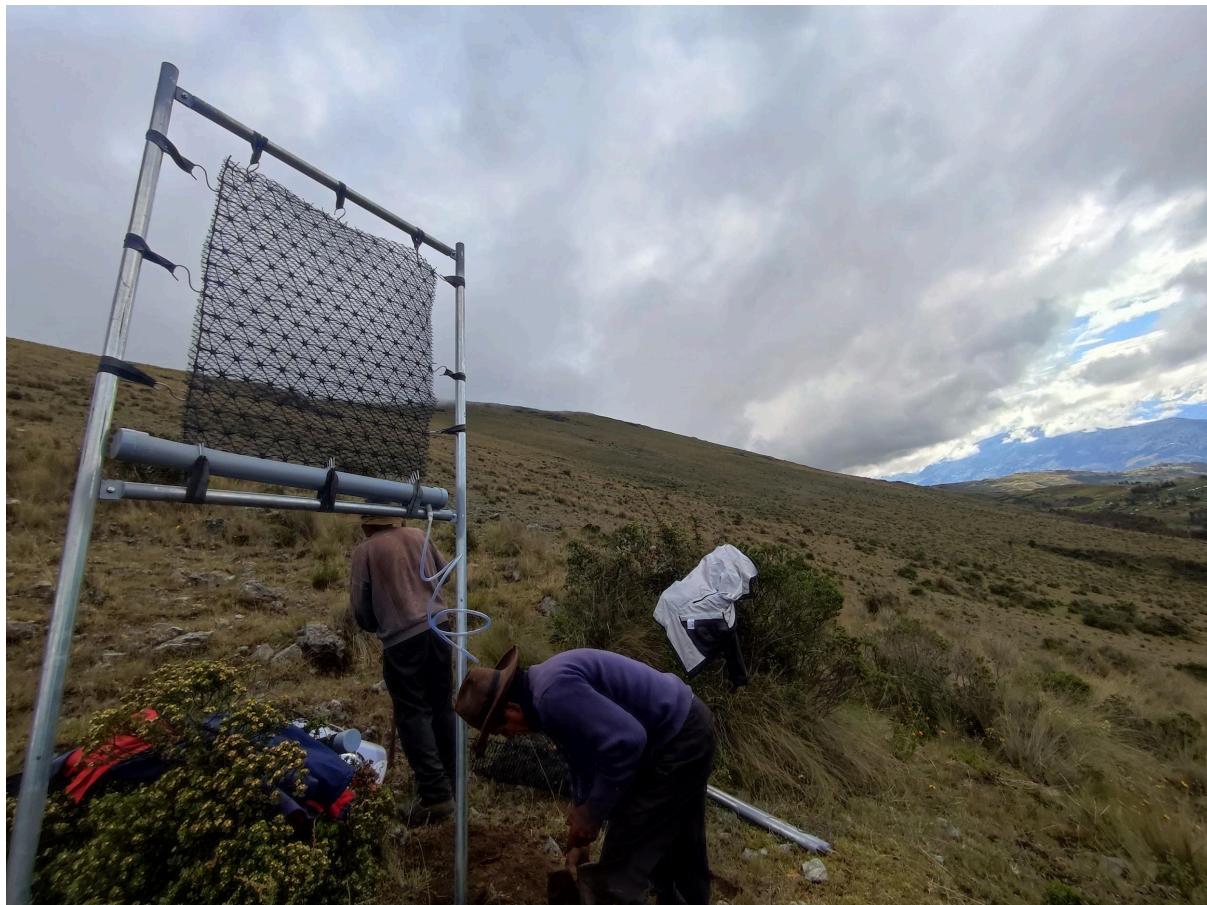


Figura 6.10. Fotografía del los comuneros de Ccocha ayudando a instalar un neblinómetro.

Imagen de autoría propia.

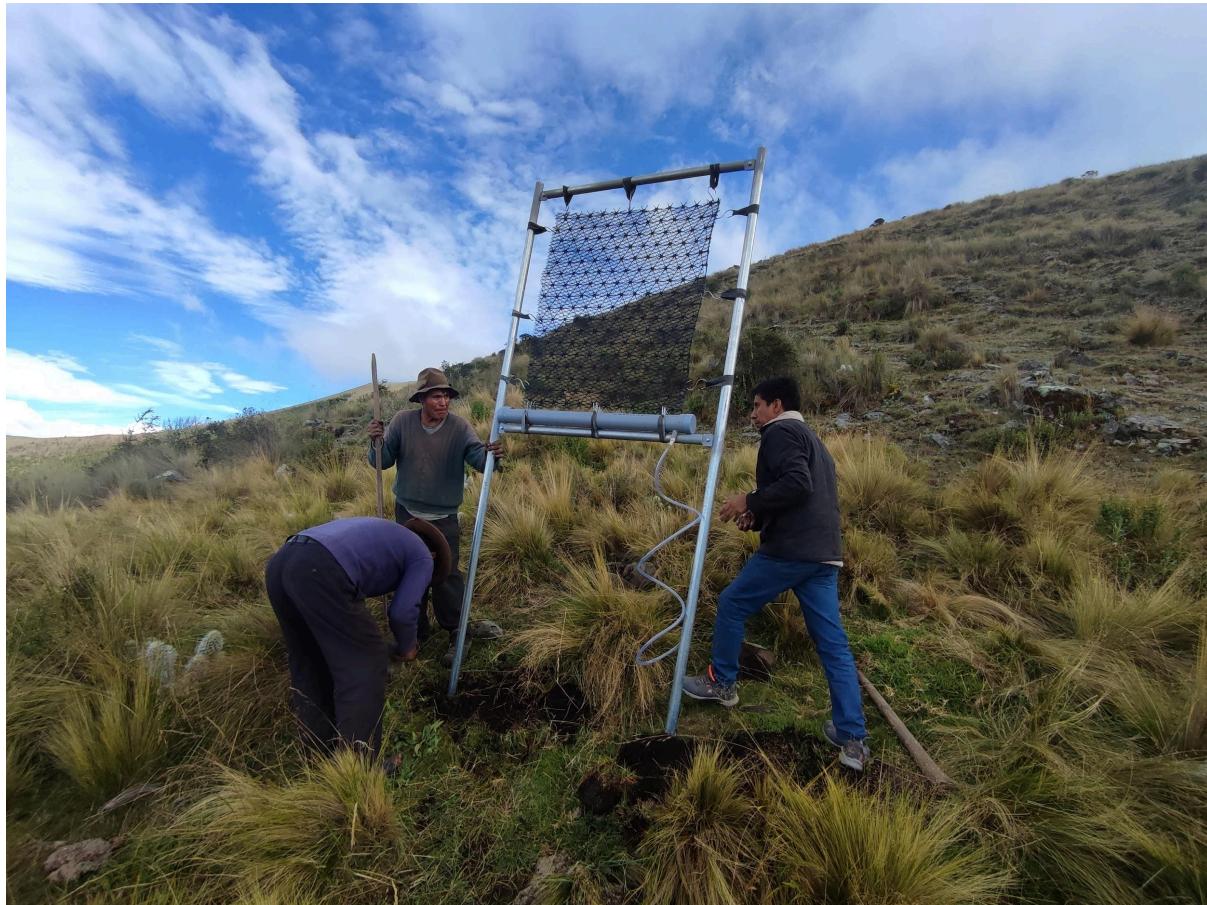


Figura 6.11. Fotografía de el levantamiento de un neblinómetro en Ccocha. Imagen de autoría propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

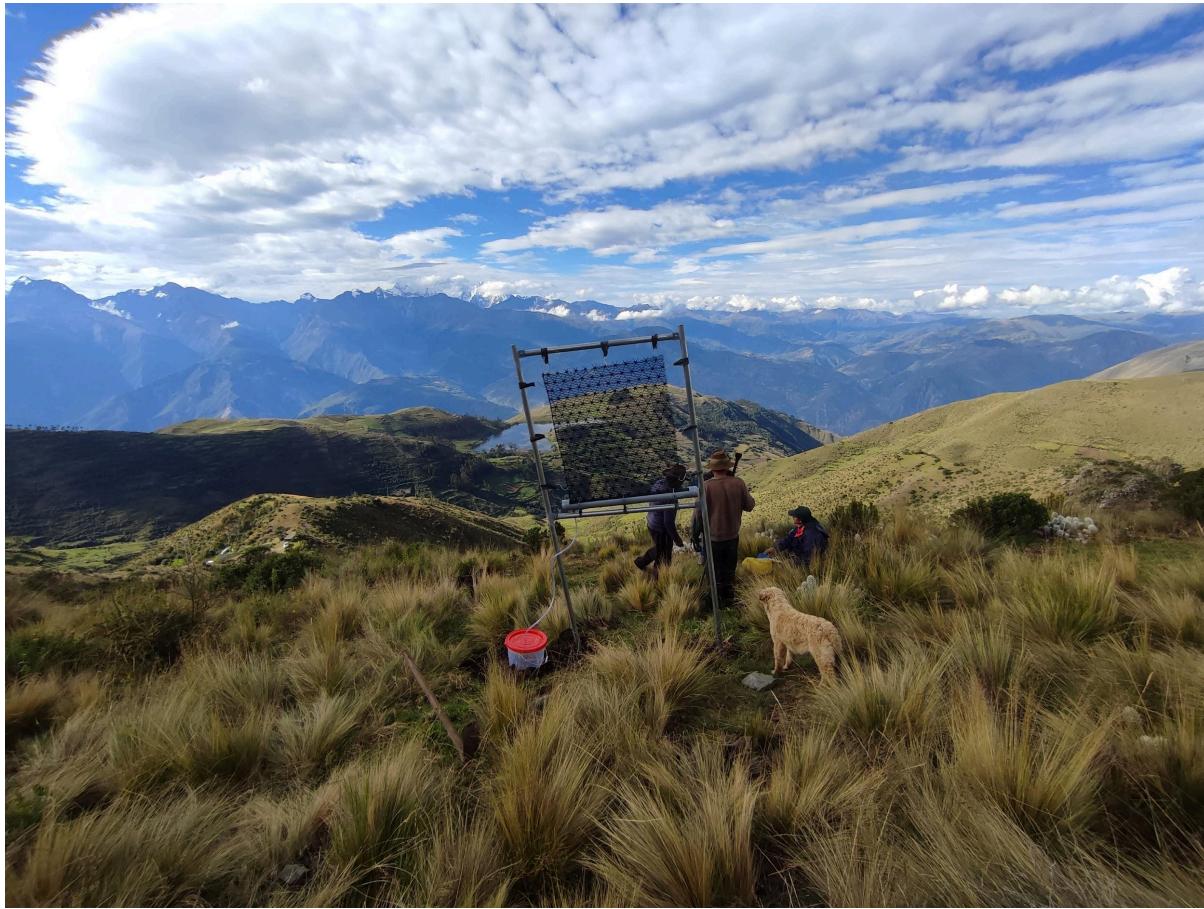


Figura 6.12. Fotografía de un neblinómetro en Ccocha. Imagen de autoría propia.

7- CONCLUSIONES

Al finalizar con la instalación de los neblinómetros y dar comienzo al estudio de potencialidad de captación de agua, se concluye lo siguiente:

- El interés de las comunidades por la implementación de un proyecto de mallas atrapanieblas para el abastecimiento de agua potable del lugar. Las familias de las comunidades, aún no conociendo esta tecnología, entienden que es necesario conseguir nuevas formas para conseguir agua para sus casas y es por eso que se sienten atraídos y motivados respecto a la implementación de un proyecto de mallas atrapanieblas.
- El diseño de neblinómetro resulta muy económico, haciendo interesante poder buscar otras regiones del mundo que carecen de agua en las que poder realizar estudios como el realizado en este proyecto en Perú.
- El diseño modular permite el fácil transporte de la estructura y posibilita aprovechar el mismo neblinómetro en otro lugar una vez acabado el estudio en el sitio en que estaba instalado.
- La tecnología de las mallas atrapanieblas, cuando las condiciones del lugar lo permiten, es la opción ideal para la obtención de un recurso tan básico como es el agua, mientras que no supone una amenaza al medioambiente.

8- REFERENCIAS

- Laura F. Zarza. '¿Qué es el estrés hídrico?'
www.iagua.es/respuestas/que-es-estres-hidrico
- Aquae Foundation. (08/2021) '1.100 millones de personas sufren estrés hídrico'
www.fundacionaqua.org/wiki/1-100-millones-personas-mundo-sufren-estres-hidrico/
- Samantha Kuzma, Liz Saccoccia y Marlena Chertock. (08/2023) '25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress'
www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries
- Nathalie Verbrugghe. (03/2023) 'Water harvesting through fog collectors: a review of conceptual, experimental and operational aspects'
<https://academic.oup.com/ijlct/article/doi/10.1093/ijlct/ctac129/7091805>
- Tamara Núñez. (07/2022) 'Los atrapanieblas y el legado de Carlos Espinosa, el científico que soñaba con entregar agua de neblina al norte del país'
<https://laderasur.com/articulo/los-atrapanieblas-y-el-legado-de-carlos-espinosa-el-cientifico-que-sonaba-con-entregar-agua-de-neblina-al-norte-del-pais/>
- Andrea Fischer. (10/2022) 'Qué sabemos del árbol arcoíris, la especie de eucalipto exótico más colorida del mundo'
www.ngenespanol.com/ecologia/como-es-el-arbol-eucalipto-arcoiris/
- Zabalketa (01/2014) 'Experiencias de captación de agua de nieblas para reforestación'
zabalketa.org/archivos/publicaciones/libro-captacion-agua-niebla-reforestacion.pdf
- Zabalketa (05/2023) 'Captación de agua de niebla en Bolivia'
zabalketa.org/archivos/publicaciones/LIBRO-AGUA-DE-NIEBLA_cas.pdf

9- ANEXOS

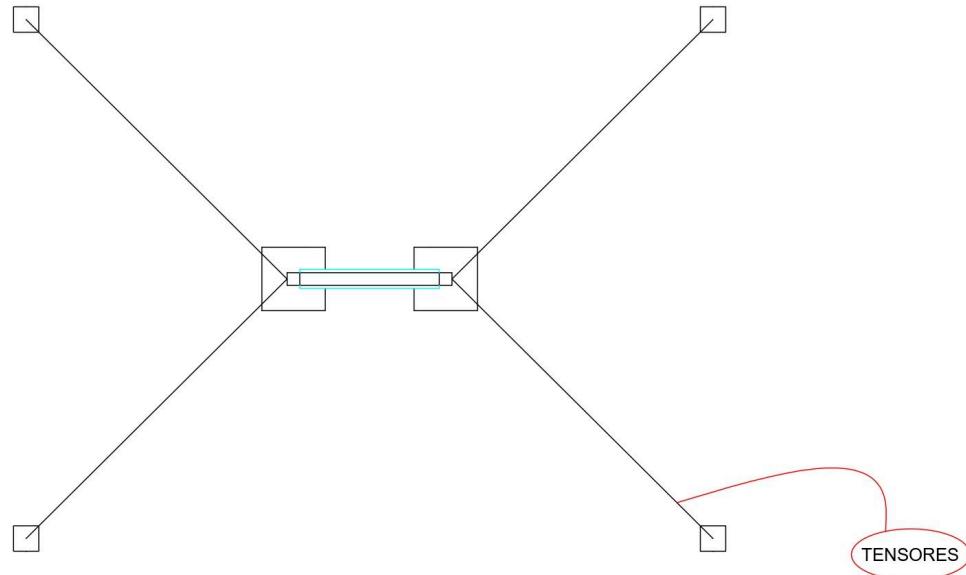


Figura 9.1. Plano de planta del diseño del neblinómetro, de elaboración propia.

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac

ESTRUCTURAS METALICAS TEJESA

VILLARROEL MELENDEZ SANDRO

JR. PARAGUAY 123 URB. LAS AMERICAS GRASS DE VOLEY FAMILIA
VILLARROEL

ABANCAY - ABANCAY - APURIMAC

FACTURA ELECTRONICA

RUC: 10310381182

E001-25

Fecha de Emisión	: 17/04/2024	Forma de pago: Crédito
Señor(es)	: CARITAS ABANCAY	
RUC	: 20185862748	
Dirección del Cliente	: AV. DANIEL A. CARRION 511 CT DIRESA, PORTON PLOMO DE METAL APURIMAC-ABANCAY- ABANCAY	
Tipo de Moneda	: SOLES	
Observación	:	

Cantidad	Unidad	Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER
8.00	UNIDAD		SERVICIO DE ELABORACION DE PARANTES DE ESTRUCTURAS METALICAS PARA ATRAPANIEBLAS, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y ACCESORIOS PARA SU INSTALACION	593.2203	0.00

Valor de Venta de
Operaciones Gratuitas : S/ 0.00

Sub Total :	S/ 4,745.76
Ventas :	S/ 0.00
Anticipos :	S/ 0.00
Descuentos :	S/ 0.00
Valor Venta :	S/ 4,745.76
ISC :	S/ 0.00
IGV :	S/ 854.24
ICBPER :	S/ 0.00
Otros Cargos :	S/ 0.00
Otros Tributos :	S/ 0.00
Monto de redondeo :	S/ 0.00
Importe Total :	S/ 5,600.00

SON: CINCO MIL SEISCIENTOS Y 00/100 SOLES

Información de la detacción

Leyenda:	Operación sujeta al Sistema de Pago de Obligaciones Tributarias con el Gobierno Central	
Bien o Servicio:	025 Fabricación de bienes por encargo	
Medio Pago:	001 Depósito en cuenta	
Nro. Cta. Banco de la Nación:	00170003144 Porcentaje de detacción: 10.00	Monto detacción: S/ 560.00

Información del crédito

Monto neto pendiente de pago	: S/ 5,040.00
Total de Cuotas	: 1

Nº	Cuota	Fec.	Venc.	Monto	Nº	Cuota	Fec.	Venc.	Monto	Nº	Cuota	Fec.	Venc.	Monto
1		30/04/2024		5,040.00										

Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.

Figura 9.2. Factura del material para la estructura de los neblinómetros.

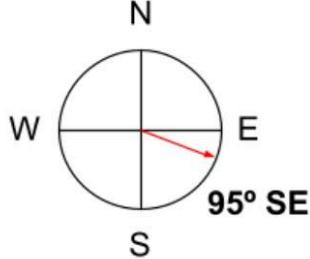
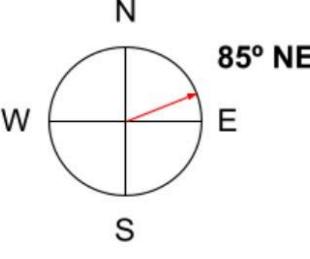
Figura 9. 3. Tabla para la recogida de datos en la comunidad de Ccocha, elaboración propia.

CONCACHA

ALTURA COMUNIDAD	ALTURA NEBLINÓMETROS	COORDENADAS NEBLINÓMETROS	ENCARGADO
3600 m	3800 m	-13.552106, -72.808715	_____

ORIENTACIÓN DE LOS NEBLINÓMETROS

Los neblinómetros se ubican de forma perpendicular a la dirección mostrada en la infografía.

NEBLINÓMETRO 1	NEBLINÓMETRO 2
 <p>95° SE</p>	 <p>85° NE</p>



- Punto azul: la comunidad de Concacha
- Zona azul: área en la que se expande la comunidad de Concacha
- Puntos rojos: Posición de los neblinómetros

CUADRO DE IMÁGENES

Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



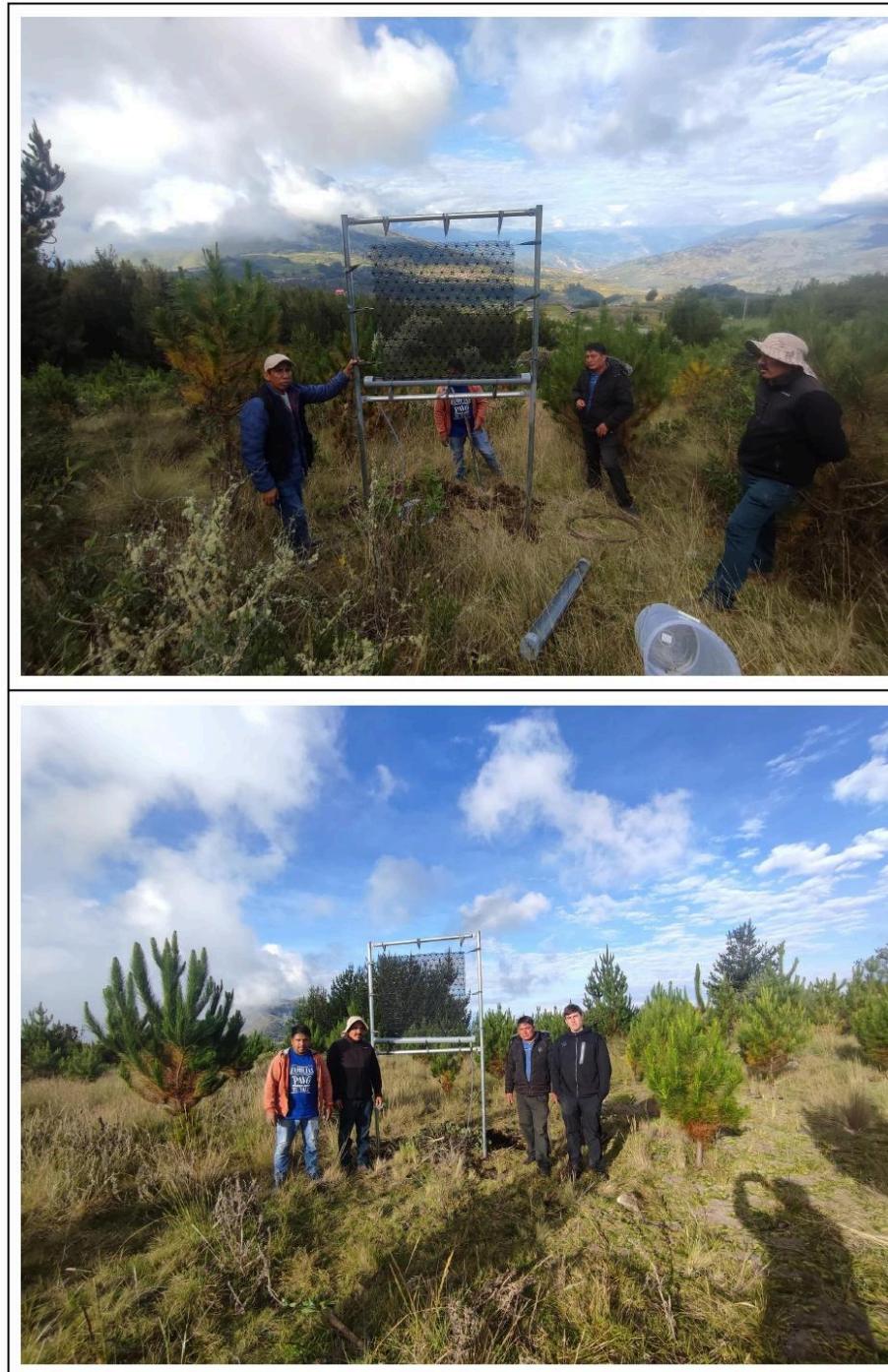


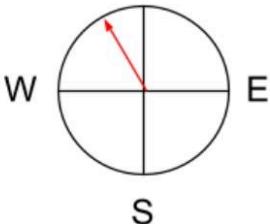
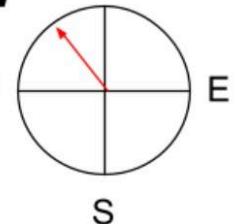
Figura 9.4. Imagen de la ficha de información sobre Concacha.

OCCORURO

ALTURA COMUNIDAD	ALTURA NEBLINÓMETROS	COORDENADAS NEBLINÓMETROS	ENCARGADO
3200 m	3900 m	-13.520978, -72.752660	_____

ORIENTACIÓN DE LOS NEBLINÓMETROS

Los neblinómetros se ubican de forma perpendicular a la dirección mostrada en la infografía.

NEBLINÓMETRO 1	NEBLINÓMETRO 2
340° NW 	330° NW 



- Punto azul: la comunidad de Occoruro
- Zona azul: área en la que se expande la comunidad de Occoruro
- Puntos rojos: Posición de los neblinómetros

CUADRO DE IMÁGENES



Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



Estudio de sistemas atrapanieblas aplicado en Apurímac



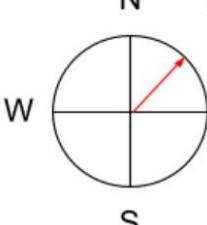
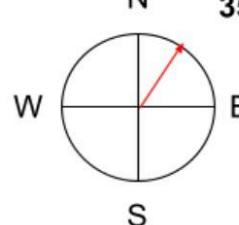
Figura 9.5. Ficha de información sobre Occoruro.

CCOCHA

ALTURA COMUNIDAD	ALTURA NEBLINÓMETROS	COORDENADAS NEBLINÓMETROS	ENCARGADO
3700 m	3900 m	-13.612075, -72.638763	_____

ORIENTACIÓN DE LOS NEBLINÓMETROS

Los neblinómetros se ubican de forma perpendicular a la dirección mostrada en la infografía.

NEBLINÓMETRO 1	NEBLINÓMETRO 2
<p>N 45º NE</p> 	<p>N 35º NE</p> 



- Punto azul: la comunidad de Ccocha
- Zona azul: área en la que se expande la comunidad de Ccocha
- Puntos rojos: Posición de los neblinómetros

CUADRO DE IMÁGENES





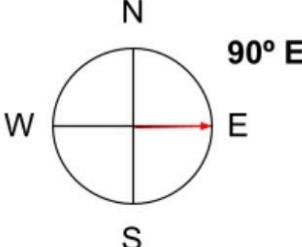
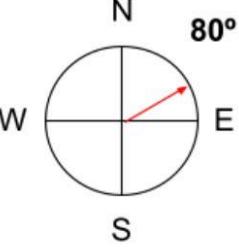
Figura 9.5. Ficha de información sobre Ccocha.

PUCUTA

ALTURA COMUNIDAD	ALTURA NEBLINÓMETROS	COORDENADAS NEBLINÓMETROS	ENCARGADO
3800 m	4000 m	-13.680081, -72.501009	_____

ORIENTACIÓN DE LOS NEBLINÓMETROS

Los neblinómetros se ubican de forma perpendicular a la dirección mostrada en la infografía.

NEBLINÓMETRO 1	NEBLINÓMETRO 2
 <p>N 90° E W E S</p>	 <p>N 80° NE W E S</p>



- Punto azul: la comunidad de Pucuta
- Zona azul: área en la que se expande la comunidad de Pucuta
- Puntos rojos: Posición de los neblinómetros

CUADRO DE IMÁGENES





Figura 9.6. Ficha de información sobre Pucuta.