



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA
DE NIEBLA”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autores:

SEGUNDO WILLAN TIRADO PAJARES
SEGUNDO ELEUTERIO ROCHA CHOROCO

Asesor:

Blgo. Luis Felipe Valdez Núñez

Cajamarca - Perú

2018

DEDICATORIA

Este trabajo para adquirir el grado de Bachiller se lo dedicamos a Dios sobre todas las cosas por ser nuestra guía espiritual, también a nuestras familias por su inmenso apoyo en el proyecto, han sido una fuente importante de fuerza para el empeño que se debe dedicar a las cosas que serán útiles para nuestra vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres por habernos dado el ejemplo para afrontar las situaciones difíciles en el recorrido para alcanzar las metas.

A nuestros hermanos por acompañarnos en nuestra formación, en los aciertos y en los errores que nos han permitido estar en esta lucha.

Del mismo modo al profesor asesor del curso proyecto de tesis Luis Felipe Valdez Núñez por su apoyo incondicional en este proceso.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
INDICE DE TABLAS.....	5
RESUMEN	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	10
CAPÍTULO III. RESULTADOS	16
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	26
REFERENCIAS.....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas.....	11
---	----

RESUMEN

El presente artículo describe los análisis de un estudio minucioso que tuvo como objetivo identificar las tecnologías para poder captar el agua de niebla, puesto que en la atmosfera contamos con 12 900 km³ de agua dulce, de los cuales 98 % es vapor de agua y 2 % de agua condensada en forma de nubes o nieblas y que se podría aprovechar haciendo uso de las tecnologías. Para ello se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica (revistas), por medio de la técnica de selección bibliográfica y el uso de una estrategia de búsqueda rigurosamente definida.

La muestra estuvo compuesta por 134 publicaciones, producidas entre 1992 al 2018 que fue discernido, logrando seleccionar solamente 26 artículos por diversos criterios. Los resultados obtenidos permiten identificar las tecnologías de captación del agua de niebla como también los resultados exitosos obtenido mediante la aplicación de muchas de ellas en varios lugares; las cuales cumplieron ciertos roles atreves de la aplicación de recursos didácticos, criterios, estrategias e instrumentos de evaluación, y experimentación de aplicación en contextos reales. A partir de ello, se pone en evidencia el estado de la cuestión y se generan elaboraciones teóricas con proyección práctica y basada en la evidencia.

PALABRAS CLAVES: Agua de niebla, atrapanieblas, humedad atmosférica, tecnologías para captar agua de niebla.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

A pesar de que el 75% de la superficie terrestre está ocupada por agua, solamente el 2.76% es agua dulce y finalmente por su accesibilidad, solo el 0.62% está disponible para el consumo humano que es agua subterránea y superficial. En todas partes del mundo es cada vez más difícil obtenerla, por lo que en varios países se ha vuelto un problema social. (Meléndez, Cervantes y Barradas 2015).

Como se sabe, la atmósfera contiene 12 900 km³ de agua dulce, de los cuales 98 % es vapor de agua y 2 % de agua condensada en forma de nubes o nieblas, lo cual es comparable a los recursos renovables de agua líquida dulce de la tierra habitada y que podría ser aprovechada. (Bautista L, Tovar J, Palacios O, Mancilla R – 2011).

La recolección de humedad atmosférica es una tecnología muy antigua que se ha redescubierto en tiempos modernos. Contamos con varios ejemplos alrededor del mundo que dan testimonio de esto. Ilustraremos esto con ejemplos en las Islas Canarias, en la Cuenca de México y en Chile, donde, en medios diferentes se usaron tecnologías parecidas para este propósito. (Pascual, Payano y Medrano 2011).

En las Islas Canarias se han desarrollado y aplicado varios métodos, en diferentes épocas para captar agua de niebla y casi siempre con los mismos propósitos. Actualmente la captación de la niebla se lleva a cabo mediante diferentes técnicas, siendo una de ellas la de redes o mallas. Existen otras técnicas de captación en las mismas islas las cuales se complementan o se utilizan de acuerdo con los diferentes propósitos y las diferentes necesidades y condiciones. Las tecnologías son variadas y dignas de estudio. (Pascual, Payano y Medrano 2011).

Es por ello, estudios anteriores demuestran que la instalación de un sistema de atrapa-nieblas en el km 275 de la Carretera Panamericana Norte (Perú) donde se ubica el Santuario o Ermita del Padre Hurtado el agua que se captaba para uso era muy escasa y a vista que se pensó colocar jardines entre otros se optó por un atrapa-nieblas lo cual atreves de un financiamiento lo consiguieron con gran éxito. (Osses P., Schemenauer R, Cereceda P., Larrain H. Y Correa C. – 2000).

Otro de los trabajos realizados con la finalidad de poder captar al agua de niebla se realizó en la Microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México utilizando mosqueteros y mallas para su construcción. Atreves de este trabajo se buscaba evaluar la calidad del agua captada por medio de las pruebas de solidos disueltos totales, SDT, Sustancias activas al azul de metileno, SAAM, orgánicos, Coliformes totales, OCT, Organismos coliformes Fecales, OCF, de donde se concluyó que el agua de la niebla que se captó sea utilizada como agua de riego sin necesidad de recibir tratamiento, pero para que pueda utilizarse en el consumo humano debe someterse a tratamiento de purificación con un costo muy alto en comparación con la que sumista el municipio. (Jofre R., Juan Cervantes J. y Barradas V. – 2015).

Asimismo, en el desierto de Atacama (Chile) se realizó un estudio de donde se obtuvo como resultado que era el lugar que recibía mayor radiación solar y de baja humedad, aunque con la presencia de nubes constantes llegando por la noche de 80 a 100 % y durante el día de 60%. Dicho desierto posee solo 0.6 mm de precipitación anuales, siendo un índice bastante bajo. Por ello se instaló un sistema de atrapa-nieblas para poder abastecer de agua a una parte de la población, obteniendo un gran resultado. (Osses P, Escobar R, Del Rio C, García R y Vargas C. – 2017).

La tecnología de captación de agua de niebla, conocida también como atrapanieblas, permite la obtención de una fuente adicional de agua, de forma sostenible, y con un elevado potencial de autoconstrucción y autogestión.

Por tanto, el presente trabajo busca responder a este desafío a través de una revisión sistemática de publicaciones en revistas indexadas en la base SciELO – Scientific Electronic Library Online, Redalyc.org y Google Académico, sobre las tecnologías de captación de agua de niebla.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Las revisiones sistemáticas intentan reunir todo el conocimiento de un tema específico, destacando lo que se conoce acerca de un tema concreto, a través de los resultados obtenidos en diferentes estudios y ofrecer así recomendaciones para la práctica e investigación futura. En la revisión sistemática revisada en este artículo, se analizarán las evidencias encontradas en investigaciones en torno a los atrapanieblas o agua de niebla.

Tipo de estudio

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica con base en la adaptación de la metodología SciELO–Scientific Electronic Library Online, Redalyc.org y Google Académico. La pregunta de investigación establecida para conducir el proceso metodológico es la siguiente: ¿Cuáles son las tecnologías para captar el agua de niebla?

Proceso de Selección

Los artículos se seleccionaron de la base de datos SciELO (Scientific Electronic Library Online), Redalyc.org y Google Académico utilizando las siguientes palabras clave: atrapanieblas, agua de niebla, tecnologías para captar agua de niebla y humedad relativa y absoluta (en español). Se escogieron estos descriptores dada la naturaleza tan amplia del concepto, tal como se ha reflejado en el apartado anterior. En este estudio, se tendrán en cuenta los siguientes criterios de inclusión: artículos publicados en la base SciELO, Redalyc.org y Google Académico entre los años 1992 al 2018, cuyo tema central son las tecnologías para atrapar el agua de niebla.

Para registrar los datos se utilizó un protocolo que permitió organizar la información de cada artículo. El protocolo recogía información de los siguientes campos: autores, año de publicación, tipo de metodología seguida, país donde tuvo lugar el estudio y breve resumen

de los objetivos. Para describir el tipo de metodología utilizada en cada estudio, se tuvieron en cuenta los trabajos de Osses, Escobar, Camilo del Rio, García y Vargas (2017), Meléndez, Cervantes y Barradas (2015), García, Bohórquez y Ubaque (2013), Olivas, Salinas Veles y Villa (2011) y Osses, Schemenauer, Cereceda, Larraín Y Correa (2000). Estos autores definen tipologías de estudios descriptivos e investigaciones experimentales sobre los captadores de neblina en zonas áridas.

Como criterio de exclusión se definió a aquellos artículos no muy relevantes. El protocolo de búsqueda y de extracción de información fue aplicado por dos revisores de forma independiente, cuyas diferencias fueron analizadas y resueltas por mutuo acuerdo.

Proceso de revisión

Los artículos referenciados a través de los descriptores fueron analizados y codificados independientemente por los investigadores. Los datos sobre el año de publicación, el diseño metodológico, el país de referencia y los participantes se organizaron en una tabla (*Tabla 1*).

Tabla 1: Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas.

Fuente	Diseño Metodológico	País	Nombre del Artículo
Osses, Escobar, Camilo del Rio, García y Vargas (2017).	Estudio	Chile	El Clima desértico costero con nublados abundantes del desierto de Atacama y su relación con los recursos naturales. Caso de estudio Alto Patache (20,5°S), región de Tarapacá, Chile.

Fuente	Diseño Metodológico	País	Nombre del Artículo
Meléndez, Cervantes y Barradas (2015).	Experimental	México	Calidad del agua de neblina captada artificialmente en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México.
Osses, Schemenauer, Cereceda, Larraín Y Correa (2000).	Descriptivo, Experimental	Perú	Los atrapa-nieblas del Santuario Padre Hurtado y sus proyecciones en el combate de la desertificación.
Bautista, Tovar, Mancilla, Magdaleno, Ramírez, Arteaga y Vásquez (2013).	Experimental	México	Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmosfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México.
Bautista, Tovar, Palacios, Mancilla (2011).	Descriptivo, experimental	México	La humedad atmosférica como fuente opcional para uso doméstico.
Cereceda P. (1992).	Revisión	Chile	Los atrapa-nieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural.

Fuente	Diseño Metodológico	País	Nombre del Artículo
Squeo, Olivares, Pollastri, Aravena, Aguirre, Jorquera y Ehleringer (1999).	Revisión	Chile	Grupos funcionales los arbustos desérticos definidos sobre la base de las fuentes de agua utilizadas.
Morales, Ortega (1994).	Investigación	España	Aproximación al estudio de las nieblas en el valle medio del Duero.
Mendoza (2014).	Experimental	Colombia	Programa de Especialización de Recursos Hídricos.
Asociación Zabalketa y Ner Group (2014)	Investigación	Bolivia y Perú	Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación.
Cereceda, Hernández, Leiva, Rivera (2014).	Estudio	Chile	Agua de Niebla. Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas.
Monroy y Vásquez (2014).	Estudio	México	Jardín xerófito para divulgación científica
Pascual, Naranjo y Payano (2014).	Estudio	España	Tecnología para la recolección de agua de niebla.

Fuente	Diseño	País	Nombre del Artículo
Cereceda, Hernández, Leyva y Rivera (2014).	Experimental	Chile	Nuevas Tecnologías para el desarrollo sustentable en áreas áridas y semiáridas.
Asociación Zabalketa 2013.	Estudio Experimental	Perú y Bolivia	Captación de agua de niebla para Reforestación en Perú y Bolivia.
Sánchez (2018).	Estudio	Perú	Atrapanieblas, tecnología para el atrapamiento de agua, una experiencia exitosa para las políticas públicas en el distrito de Villa María del Triunfo, Lima 2018.
Martos (2009).	Experimental	Chile	Captación de agua de niebla.
Mendoza y Castañeda (2014).	Estudio	Colombia	Criterios metodológicos para la definición de sistemas de Captación de aguas con base en lluvia horizontal.
Cereceda, Larraín, Osses, Schemenauer y Fuentes (1999).	Estudio	Chile	Campos de tillandsias y niebla en el desierto de Tarapacá.

Fuente	Diseño Metodológico	País	Nombre del Artículo
Barradas (2000).	Estudio	México	La importancia de la niebla como fuente natural artificial en la región de las grandes montañas del estado de Veracruz-México.
Osses, Schemenauer, Cereceda, Larraín y Correa (2000).	Experimental	Chile	Los atrapanieblas del Santuario Padre Hurtado y sus proyecciones en el combate a la desertificación.
Soto	Estudio	Chile	Captación de agua de las nieblas costeras (Camanchaca), Chile.
Cerceda, Hernández, Leyva y Rivera (2014).	Estudio	Chile	El agua de niebla, Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas.
Mendoza y Castañeda (2014).	Estudio	Colombia	Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal.

Fuente: Organización grafica de la información por los investigadores.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

La búsqueda de artículos en las bases de datos y motores de búsqueda arrojó un total de 134 artículos originales en el periodo de tiempo de 1992 a 2018, distribuidos así: Redalyc.org, 34 artículos; SciELO (Scientific Electronic Library Online), 25 artículos y Google Académico 75 artículos. A partir de este número total se eliminaron los duplicados, un total de 7 referencias para un valor final de 127 artículos originales. Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión y de exclusión hasta la obtención de un número final de 25 artículos para la presentación de resultados.

Según el diseño, dos de los estudios analizados en el presente trabajo fueron identificados como descriptivo experimental; seis, como experimentales; dos, revisiones, dos, investigación; uno, estudio experimental y doce de estudio. La mayoría de los artículos empíricos recogidos utilizaron el agua de niebla y las tecnologías necesarias.

Los resultados derivados de la revisión se describen a continuación según las preguntas previamente mencionadas. Como algunos trabajos respondían a más de una pregunta, la decisión de incluirlo en un grupo fue consensuada entre los investigadores. Por razones de parsimonia y de claridad, se discutirán los diferentes trabajos organizados en cada pregunta.

Captación de agua de niebla y las tecnologías para el desarrollo.

Se encontraron dieciocho artículos centrados en la naturaleza de captación del agua de niebla y las tecnologías para el desarrollo, aportando explicaciones conceptuales y metodológicas sobre los diferentes componentes que integran el proceso de recolección de agua de niebla. El artículo de la asociación Zabalketa (2013) abordó que la temática del fundamento de la captación de agua de niebla se basa en la condensación de las pequeñas gotas de agua que componen la niebla sobre la superficie de una malla (de polipropileno,

generalmente). Estas gotas descienden por la malla y se recogen en una canaleta situada en la parte inferior de la estructura, que conduce el agua hasta un depósito. El objetivo general es desarrollar un mecanismo de captación de precipitaciones horizontales (nieblas) que permita facilitar la reforestación y recuperación ambiental de zonas degradadas y aprovechar el potencial de los suelos de zonas costeras para la forestación en Perú y Bolivia.

El trabajo de Mendoza y Castañeda (2014) establece los criterios técnicos y metodológicos que permiten la evaluación de los espacios funcionales y áreas de captación de la lluvia horizontal, como alternativa de abastecimiento de agua para diferentes usos rurales con un enfoque de sostenibilidad ambiental. Asimismo, sobre los métodos de captación de lluvia horizontal como base de análisis de referentes bibliográficos Nacionales e Internacionales.

La Asociación Zabalketa y Ner Group (2014) hablan sobre el recurso hídrico potencialmente “cosechable” en distintas zonas de Perú y Bolivia mediante captadores de nieblas (o redes atrapanieblas). Asimismo, pretenden promover la incorporación de esta técnica en proyectos de cooperación al desarrollo en zonas donde la escasez hídrica condiciona el día a día de las personas, especialmente de las mujeres que habitualmente asumen la responsabilidad de abastecer de alimento y agua a la familia.

García, Vaca, García J. (2013) dicen que la recolección se hace mediante mallas captadoras, suspendidas y orientadas en sentido perpendicular al flujo del viento, de modo que la nube de niebla sea arrastrada hacia ella. Cuando las gotas de agua suspendida que conforman la niebla hacen contacto con el tejido de la malla, éstas sufren un cambio de energía superficial que favorece la formación de gotas de mayor tamaño, que se adhieren, aglutinan y escurren por la malla misma, para ser almacenadas en tanques. Asimismo, mencionan que estos trabajos se realizan en lugares de muy poca precipitación, cerca de

cuerpos grandes de agua que provean la evaporación masiva necesaria para la formación de nubes, es decir, lagos u océanos, y un factor de condensación rápida para la formación de niebla al nivel del suelo, como la elevación del terreno.

Meléndez, Cervantes y Barradas (2015) nos mencionan sobre el agua recolectada en la zona montañosa del estado de Veracruz, estos realizaron muestreos preliminares de enero a marzo del 2010, periodo de mayor frecuencia de niebla donde se analizaron los aspectos físicos, químicos y biológicos. Encontraron que el agua contenía metales pesados, como el mercurio, organismos coliformes y cantidades altas de nitrógeno amoniacal, pero que se puede solucionar aplicando un tratamiento para uso humano con un costo reducido. Entonces concluyen que el agua recolectada en esta zona sin tratamiento no es adecuada para el consumo humano, pero si para la agricultura.

El trabajo de Osses, Escobar, Camilo del Rio, García y Vargas (2017), busca analizar y caracterizar la presencia de niebla costera en su ciclo diario y su relación con la radiación solar, distinguiendo las tipologías de nieblas y su productividad de agua, además buscan establecer la factibilidad de utilizar energía solar y agua de niebla de manera complementaria en un contexto de escasez de ambos recursos fundamentales, esto dado principalmente por la atenuación en la radiación producto de la nubosidad, situación que podría llevar a una eventual anulación de un recurso en función del otro (agua y energía). Es en este sentido explorar el comportamiento de ambos recursos puede ser relevante para futuros desarrollos, especialmente en el desierto de Atacama donde la presión por energía y recursos hídricos es creciente.

Según Barradas (2000) la niebla al ser captada por árboles se precipita produciendo la precipitación indirecta. Mediante este fenómeno la vegetación contribuye con una cantidad abundante de agua que no se toma en cuenta en el balance hidrológico, las

evaluaciones de precipitación indirecta se han hecho con pluviómetros equipados de un colector de niebla que no corresponde a las características típicas de la vegetación. En su trabajo presenta el recorrido sobre la importancia de la niebla en las zonas montañosas del estado de Veracruz-México. El deterioro y la tala inmoderada tienen como consecuencia una gran pérdida de agua en el ciclo hidrológico y en el abastecimiento a zonas urbanas, es por ello que el plan de manejo de la región debe contemplar el efecto de la captación de agua en el sistema suelo-planta-atmosfera.

Cereceda, Larraín, Osses, Schemenauer y Fuentes (1999) relacionan la formación vegetacional con el clima de la región Tarapacá y con el relieve a meso y microescala. Además, sobre la cuantificación de la cobertura y el vigor de la vegetación en un área representativa. Además, identificar factores de relieve que permiten la penetración de la niebla y determinar la altitud más adecuada; definir los corredores de niebla y cuantificar su potencial de colección de agua y el comportamiento temporal de ella en un área representativa.

Osses, Schemenauer, Cereceda, Larrain y Correa (2000) discuten la gestación del proyecto del Santuario, su financiamiento, la puesta en marcha y los proyectos de innovación agrícola que se pueden realizar. Asimismo, relacionan este proyecto con el potencial de neblinas que se encontró en las áreas monitoreadas en el Norte Grande en el proyecto Fondecyt 1971248, y que pueden significar la habilitación de tierras desérticas para actividades productivas. Hablan de un sistema de captación de agua de niebla para dotar de agua potable al Santuario Padre Hurtado, ubicado en el km 275, de la Carretera Panamericana Norte, en la comuna de Canela. Este sistema de 10 atrapanieblas y 400 m² de superficie de malla produce un promedio 2.000 litros de agua al día, haciendo posible el uso en riego de jardines, baños, uso doméstico y quedando aún un excedente importante, que

hace pensar en nuevas utilizaciones como granja modelo, bebederos para el ganado o cultivo en invernaderos. Asimismo, pensaron en la difusión de esta tecnología mediante un programa de capacitación en tecnología de captación de agua de niebla y su utilización.

Soto nos habla de un prototipo de sistema que, en términos breves, consiste en un set interconectado de paneles atrapanieblas que dispuesto convenientemente, localizados a unos 900 msnm, interceptan las neblinas que trasladan los vientos marinos hacia el continente. Estos captadores de niebla se alzan sobre postes ubicados a dos metros sobre la superficie del suelo, soportando una doble estructura rectangular de malla de polipropileno (que se obtiene en el comercio como malla de sombra cortaviento “Raschel” de 35% de sombra), que intercepta la gota de la neblina arrastrada por el viento. El agua así captada es trasladada gravitacionalmente a través de un sistema de tuberías hacia un estanque de acumulación y a la red de agua para la población (Chungungo, ubicado a 80 km al norte de La Serena en Chile).

Cerceda, Hernández, Leyva y Rivera 2014 nos hablan de la escasez hídrica que afecta al país (Chile) y particularmente a la Región de Coquimbo, es un fenómeno permanente y que no desaparecerá con una lluvia. La falta de agua es una condición con la cual los diversos sectores productivos de la zona deben comenzar a convivir, buscando soluciones creativas y de bajo costo. La investigación y desarrollo de sistemas que cosechen el agua que trae la abundante niebla de las zonas costeras de la región se perfila como una de las soluciones más prometedoras, ello en cuanto pueden obtener grandes volúmenes de este vital elemento sin el costo energético que implican otras tecnologías.

Cerceda P. (1992) sostiene que la condición socioeconómica de esta población costera la hace altamente susceptible a migrar hacia las ciudades más próximas, donde pasa a integrar el segmento más marginado y contribuye al crecimiento inorgánico de las mismas.

Para detener esta migración, es necesario brindar a dicha población un desarrollo de su localidad en forma sustentable. Esto significa que además de contar con las facilidades para extraer los recursos sin ponerlos en peligro ni dañar el medio ambiente, deben tener una calidad de vida adecuada mediante la satisfacción de sus necesidades básicas. La más importante de ellas es el agua, pues las poblaciones costeras son las más afectadas por las sequías, es aquí en donde la tecnología de atrapanieblas puede ser especialmente interesante para dotar a estos pobladores. Se calcula que entre Pichidangui y Arica, podría haber entre 1.500 y 2.5003 personas que viven en estas condiciones en este tipo de caletas pesqueras o dedicados a la mencionada ganadería y agricultura de subsistencia en las serranías costeras.

Sánchez (2018) habla sobre la importancia de los sistemas de captación de agua con base a la neblina que pueden llegar a constituirse como una alternativa viable que sule en parte la demanda de agua, en zonas donde las fuentes hídricas no son suficientes. La investigación refleja en describir los impactos sociales, económicos, políticos y ambientales generados por el Atrapanieblas para la captación de agua mediante el sostenimiento de políticas públicas en Villa María del Triunfo (Lima). La captación de agua de la neblina se ha convertido en una alternativa para la sobrevivencia de los pobladores de la comunidad de Paraíso Alto en Villa María del Triunfo. No obstante, la implementación de esta tecnología tiene acogida en el medio, aunque significa mayor responsabilidad por parte del Estado, para ejecutar proyecto de inversión y/o mantenimiento de los atrapanieblas.

Bautista, Tovar, Palacios, Mancilla (2011) sostiene que la escasez de agua en zonas áridas y suburbanas es un problema mundial, por lo que es necesario evaluar opciones para obtener agua por métodos no convencionales. Esta investigación evalúa una fuente de abasto de agua mediante la captación por condensación del vapor de agua de la atmósfera, con el prototipo higroimán CP-HI-03, que induce las condiciones del punto de rocío. En su estudio,

realizado en la Ciudad de México del 14 de marzo al 3 de junio de 2008, se analizó el funcionamiento de siete niveles de temperatura y dos tiempos de operación del prototipo. Las medias de los resultados de la humedad relativa, la temperatura del ambiente, la temperatura del serpentín y el volumen de agua obtenido con el prototipo fueron analizados con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). La mayor cantidad de agua se obtuvo con una humedad relativa de 69.8 % a una temperatura promedio del higroimán de -10.6°C condensando 1.980 L en un periodo de 15 h. Con el higroimán se obtiene agua del aire, y con mayor humedad relativa se obtiene mayor cantidad de agua con menor consumo de energía eléctrica.

Mendoza y Castañeda (2014) establecen una base de criterios técnicos y metodológicos que permitan la evaluación de los espacios funcionales y áreas de captación de la lluvia horizontal, como alternativa de abastecimiento de agua para diferentes usos rurales con un enfoque de sostenibilidad ambiental. Además indica que los atrapanieblas deben ser de especial interés para las instituciones públicas que deben asegurar la satisfacción de las necesidades básicas, se sabe que el agua captada de la lluvia horizontal en atrapanieblas presenta una reducción de algunos efectos contaminantes por el uso del agua en tensión de vapor, lo cual sería ideal para zonas rurales en donde los contaminantes en el ambiente no son tan elevados y llevar agua hacia esas zonas sería muy costoso, por la distancia y la longitud de las tuberías para un solo o muy pocos usuarios.

El trabajo de Pascual, Naranjo y Payano (2014) habla sobre las tecnologías de captación de agua de niebla de varios siglos atrás, como en las Islas Canarias donde la recolección se lleva a cabo desde hace aproximadamente 2000 años. En un principio seguramente se comenzó por la recolección de agua en los bosques de niebla. Sin embargo, y dependiendo de las características ambientales, a lo largo de la historia se han desarrollado diversos sistemas para la recolección. Actualmente también se utilizan en zonas áridas y

costeras, principalmente las técnicas de redes. En este trabajo, además de su aplicabilidad presente, se analiza también la evolución histórica y tecnológica de estas redes.

La humedad Atmosférica.

En los siguientes siete artículos, los autores nos hablan sobre la influencia de la humedad atmosférica. Morales y Ortega (1994) realizan un estudio detallado de las nieblas en el valle medio del Duero, a fin de conocer su dinámica, frecuencia, distribución espacial y, sobre todo, de analizar de forma pormenorizada los tipos de tiempo a los que se asocian, puesto que no siempre son las situaciones de marcada estabilidad sus causantes. Ante todo, se resaltan los principales factores que contribuyen a su génesis, derivado tanto el relieve como la dinámica atmosférica, y se reflexiona sobre sus efectos y consecuencias, siendo uno de los efectos meteorológicos más característicos a lo largo del valle del Duero durante el período invernal la aparición de nieblas.

Cereceda P. (1992), menciona que la tecnología ha progresado fundamentalmente en cuanto a la construcción, diseño y materiales de los atrapanieblas. Uno de los primeros problemas fue su costo, el que se elevaba principalmente por el alto valor de la mano de obra que construía el sistema en el lugar de emplazamiento definitivo. Esto significaba que había que instalar un campamento para brindar alojamiento y alimentación a los obreros; actualmente los atrapanieblas se prefabrican en la ciudad, de modo que la instalación es más fácil y eficiente. Otro problema que los sistemas mostraban al principio, era la vulnerabilidad en relación a los temporales de viento que producían problemas en la malla y el soporte. Hoy, estos problemas se han ido solucionado mediante un dispositivo que permite que la malla se desprenda cuando el viento es muy elevado. Así como éstos, varios otros inconvenientes han sido abordados, avanzando en tecnología y bajando los costos.

También mencionan la cantidad de agua que puede extraerse de la niebla. El sistema puede coleccionar toda el agua que se requiera si cuenta con la presencia de neblina de adecuada frecuencia y con el espacio para la instalación de los atrapanieblas. El sistema es amigable con el medio ambiente y no presenta impedimentos de ese tipo. La cantidad de agua que se extrae de una masa nubosa como la del norte de Chile es mínima, ni siquiera alcanza a interceptar el 1% del total del agua que es desplazada por el viento, de manera que difícilmente podría alterar los ecosistemas a sotavento de la infraestructura instalada. Por otra parte, es considerada “agua nueva”, es decir, el agua que se extrae de la niebla, no viene de otro sistema hidrológico (río, acuífero, etc.), no se está restando a otro uso, sino que, de no utilizarse, ésta se evaporará al cambiar las condiciones atmosféricas.

Del mismo modo sostienen que la colección de agua de niebla es muy simple. Se basa en un conjunto de atrapanieblas (tecnología no tradicional), una cañería o sistema de conducción de agua a la población beneficiaria, uno o más estanques de almacenamiento de agua y finalmente la distribución a las viviendas (tecnología tradicional). Los atrapanieblas son estructuras similares a un letrero caminero, compuestas de dos postes de eucaliptus, una malla Raschel, una canaleta que recibe el agua colectada y todo un sistema de soportes. Como la niebla se presenta a altitudes superiores, generalmente a partir de los 500 m, y las caletas se encuentran al nivel del mar, los atrapanieblas se ubican en las montañas de la cordillera de la Costa que enmarcan dichos poblados; de este modo el agua escurre por gravedad. En el caso de las familias de agricultores y ganaderos que generalmente viven en los lomajes de dicha cordillera, tampoco requieren elevar el agua a sus viviendas, chacras o bebederos. Por lo tanto, contar con el recurso en altura es una ventaja, ya que para su conducción no se requiere ningún tipo de energía, sino que éste baja por gravedad.

Meléndez, Cervantes y Barradas (2015) hicieron una investigación en México que consistió en evaluar la cantidad de colonias de coliformes totales y fecales encontradas en el agua atmosférica condensada utilizando pruebas rápidas. El estudio se realizó en tres zonas: San Felipe Hidalgo, Tlaxcala; Huichapan, Hidalgo y en la Ciudad de México. En cada sitio se tomaron 9 muestras diurnas y 9 nocturnas con tres repeticiones, en dos épocas del año (agosto-septiembre, 2011) y (diciembre-enero 2011-2012). El agua se captó con el prototipo de un aparato denominado higroimán, el cual disminuye la temperatura de la superficie de contacto con el ambiente para inducir el punto de rocío y condensar la humedad de la atmósfera. Se aplicó una prueba de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) a los resultados obtenidos y se compararon con los límites permisibles de agua potable de acuerdo con la OMS. La ciudad de México presentó la mayor cantidad de colonias de coliformes totales y *Escherichia coli* en los dos muestreos. Mientras que Huichapan, Hidalgo presentó la menor cantidad de coliformes totales y fecales. El agua atmosférica en los tres sitios mencionados no se considera potable sin previo tratamiento.

Como resultado se constató que las tecnologías para la recolección de agua de niebla son muy eficientes, dado que en su tratamiento no abarca muchos costos, estos adelantos implican que ya se puede pensar en sistemas masivos para abastecer un alto número de personas o a otras actividades productivas como por ejemplo la agricultura o la industria.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo analizó la literatura científica disponible en la base de datos Scielo.org, Google Académico y Redalyc.org sobre las tecnologías para la captación de agua de niebla publicadas entre 1992 y 2018. El objetivo fue buscar hacer una revisión sistemática de publicaciones sobre las tecnologías de captación de agua de niebla. A continuación, se destacan algunos aspectos considerados importantes y se analizan algunas implicaciones para la investigación.

Fueron identificados 134 estudios que respetaban los criterios establecidos para la revisión. Se observó un crecimiento de las publicaciones en este tópico a partir del año 2010. Todos los artículos están enfocados al agua de niebla y a las tecnologías de captación de agua de niebla. Los primeros trabajos centrados en el proceso de captación de agua de niebla se realizaron en los países europeos y América, principalmente Chile, publicando los investigadores en revistas de diferentes paginas como son Scielo.org sobre, Google Académico y Redalyc.org.

Las revisiones presentan los lugares como las costas del desierto de Atacama, estas se presentan normalmente cubiertas por una densa capa de estratocúmulos provenientes del Océano Pacífico, las que son arrastradas hacia el continente por los vientos predominantes del sur oeste. Parte importante de estas nubes son detenidas por los cordones montañosos de la cordillera de la costa; el resto se internan por valles, quebradas y mesetas interiores formando bancos de niebla de altura (nubes rasantes o neblinas), tradicionalmente llamadas “camanchacas”. En Sudamérica, éste fenómeno atmosférico se presenta desde el norte del Perú (8° L.S.). Mendoza y Castañeda (2014).

Estas nubes, formadas por minúsculas gotas de agua en suspensión, al tomar contacto con cuerpos que interceptan su paso, se condensan dando lugar, en muchos sectores, a la única fuente de agua en una de las regiones más secas del planeta. Se suma a lo anterior el ambiente de mayor humedad que se crea en el entorno, lo que ha permitido el desarrollo de una serie de comunidades biológicas a lo largo de la extensa costa árida de Chile y Perú. Por ello en estas zonas costeras que carecen de agua las tecnologías para la recolección de esta son eficaces, puesto que es de gran ayuda para los pobladores.

La estructura es de fácil manipulación pues permite que se hagan los ajustes cuando estos sean necesarios sin requerir una asesoría especializada y sin que el reemplazo de elementos signifique un deterioro en la función de la estructura. Las ventajas de este tipo de tecnologías es que son de fácil adaptabilidad a las condiciones imperantes al área de instalación, por eso se requiere una visita a campo que permita generar el mejor modelo, con los equipos y materiales adecuados y que permitan hacer ajustes finales en caso de ser necesarios al momento de la instalación o cuando se hacen labores de mantenimiento. Además, los equipos son de bajo impacto para el medio ambiente. Barradas (2000).

Por otro lado, el agua en la atmosfera tiene bajas concentraciones de contaminantes que afectan en baja medida su consumo, mientras que para su uso en actividades como irrigación de cultivos son muy pocas las contraindicaciones. Además, se requieren altas concentraciones de contaminantes o estar cerca de una fuente altamente contaminante para que se requiera una evaluación más estricta de la aplicabilidad del sistema en la dotación de agua para consumo. En estos casos se tienen síntomas que permiten hacer la evaluación de la aplicabilidad de la tecnología de atrapanieblas, como cuando se siente irritación en los ojos (por la acción de azufres), zonas que están mostrando aumentos en la temperatura con respecto a sus valores históricos (alta concentración de CO₂), evidencias de alergias en la

piel de los habitantes (en este caso hay que evaluar que suceda en una población amplia porque otros factores pueden ser los causantes). Cereceda P. (1992).

No es necesario el uso de maquinaria pesada y el periodo de instalación es relativamente corto, la instalación y el funcionamiento no tienen requerimientos en energía, para la instalación solo se requiere que los componentes de la estructura y la malla hayan sido transportados hasta el lugar de instalación. Mendoza y Castañeda (2014). Como vemos todos los artículos identificados corresponden con revisiones del concepto de agua de niebla, tecnologías y humedad atmosférica y de los diferentes modelos teóricos que se han generado en torno al concepto, o exploran la relación entre los conceptos.

Como se ha mencionado los costos son notablemente más bajos que los que se requieren para cualquier proyecto de distribución de agua, además teniendo en cuenta que la mayoría de comunidades beneficiadas viven en zonas aisladas, con deficiente acceso de vías, en condiciones económicas marginales y con bajos niveles de preparación. Si a esto se le adiciona el hecho de ser un sistema que aún se está desarrollando y que tiene una amplia posibilidad de incluir elementos del medio, es decir innovación con obras biomecánicas, aún se puede lograr que los costos y las posibilidades de las comunidades mejoren. Mendoza y Castañeda (2014).

Conclusiones

Se consideraba que, si se usaba tecnologías para poder atrapar el agua de niebla, esta traerías múltiples beneficios tanto para el consumo humano como para la ganadería y agricultura en zonas áridas y semiáridas del territorio, pues es bien cierto, según la información encontrada a través de los distintos buscadores (SciELO–Scientific Electronic Library Online, Redalyc.org y Google Académico) se encontraron revistas que sostienen que el agua de niebla puede ser captada de manera eficiente a través de paneles atrapa nieblas como lo realizaron en Europa y en Sudamérica como Chile, Bolivia como también en las costas de nuestro país a inicios de este año.

Se puede decir que el potencial de la nube está suspendido en el aire a la espera que la tecnología sea diseminada y logre que este recurso sea aprovechado racionalmente para establecer el desarrollo de los precarios asentamientos de los desiertos y semidesiertos y también para revertir los procesos que deterioran el ambiente. Osses, Schemenauer, Cereceda, Larraín Y Correa (2000).

Los paneles atrapan nieblas se suele usar para aprovechar la reserva de agua dulce contenida en la atmosfera, ya que estos sirven como barreras que debido a las subidas de temperatura en el día y las caídas bruscas en las noches consiguen que se puedan fusionar las gotas de agua en su estructura.

Esta tecnología es muy eficiente para abastecer de agua a poblaciones pequeñas como también a poblaciones densas, esto dependiendo de los sistemas que se puedan usar y del lugar de ubicación de los mismos. Aunque hay algunas limitaciones con respecto a las ciudades o zonas con alto índice de contaminación atmosférica o si los paneles se ubicasen cerca de los ríos contaminados por los desagües o cerca de una planta de tratamiento de agua

residual, puesto que esta agua captada no podría ser usada para el consumo humano directamente ya que podría contener coliformes totales, metales, plomo, amoníaco, pero en pequeñas cantidades, a pesar de todo esto no es inconveniente, ya que puede ser tratada con bastante facilidad. En caso se desee aprovechar esta agua para regadío o ganadería no habría inconveniente alguno ya que los estándares establecidos para estas actividades son más amplios.

A pesar de las limitaciones que pudiesen haber, estas tecnologías deben ser valoradas, ya son muy beneficiosas debido a que cuentan con un bajo costo de construcción e instalación, además tampoco es elevado costo de tratamiento (en caso de consumo humano) y que además su captación de agua es bastante eficiente. Por lo que es recomendable poder aplicarlos. Los buscadores de las revisiones bibliográficas son muy eficaces para la selección de la información, es recomendable utilizarlos (SciELO–Scientific Electronic Library Online, Redalyc.org y Google Académico) por su rápido acceso.

REFERENCIAS

- ✓ Zabalketa y Ner Group. (2013). *Capacitaron de agua de niebla para reforestación en Perú y Bolivia*. 1, 30.
- ✓ Pablo Osses, Rodrigo Escobar, Camilo del Rio, Redlich García y Constanza Vargas. (2017). *El Clima desértico costero con nublados abundantes del desierto de Atacama y su relación con los recursos naturales energía solar y agua de niebla*. Caso de estudio Alto Patache (20,5°S), región de Tarapacá, Chile.1, 33-48.
- ✓ Rodolfo Jofre Meléndez, Juan Cervantes Pérez y Víctor L. Barradas. (2015). *Calidad del agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del rio Pixquiac, Veracruz, México*. 18, 122-130.
- ✓ Víctor L. Barradas. (2000). *La importación de la niebla como fuente natural y artificial de agua en la región de las grandes montañas del estado de Veracruz, México*. Foresta Veracruzana, 2, 43-48.
- ✓ P.Cereceda, H. Larrain, P. Lázaro, P. Osses, R.S. Schemenauer y L. Fuentes. (1999). *Campos de tillandsias y niebla en el desierto de Tarapacá*. Revista de Geografía del Norte Grande, 1, 3-13.
- ✓ Pablo Osses, Robert S. Schemenauer, Pilar Cereceda, Horacio Larrain y Cristóbal Correa. (2000). *Los atrapanieblas del santuario Padre Hurtado y sus proyecciones en el combate a la desertificación*. Revista de Geografía Norte Grande, 27, 61-67.
- ✓ Asociación Zabalketa de corporación y desarrollo. (2014). *Experiencias de captación de agua de niebla para la reforestación*. Investigación de en territorios de escasez pluvial de Bolivia y Perú, 1, 1-80.

- ✓ Guido Soto. (2000). *Captación de agua de niebla costeras (Camanchaca), Chile*. Corporación Nacional Forestal, 1, 131-162.
- ✓ Morales Rodríguez Carlos. Ortega Villazan M. Teresa. (1994). *Aproximación al estudio de las nieblas en el valle medio del Duero*. Investigaciones Geográficas, 12, 23-44.
- ✓ Blanca Cecilia Mendoza Palacios Fredy Rolando Castañeda Álvarez. (2014). *Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal*. Programa de especialización en recursos hídricos Bogotá d.c, 1, 4-63.
- ✓ Ana Laura Bautista Olivas¹, Jorge Leonardo Tovar Salinas, Óscar Raúl Mancilla Villa, Héctor Magdaleno Flores, Carlos Ramírez Ayala, Ramón Arteaga Ramírez y Mario Alberto Vázquez Peña. (2013). *Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmósfera en Tlaxcala, Hidalgo y ciudad de México*. Rev. Int. Contaminación Ambiental, 29, 167-175.
- ✓ Ana L. Bautista-Olivas, Jorge L. Tovar-Salinas, Oscar L. Palacios-Vélez, Oscar R. Mancilla-Villa. (2013). *La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico*. Rev. Int. Contaminación Ambiental, 29, 167-175.
- ✓ Pilar Cereceda, Pedro Hernández, Jorge Leiva, Juan de Dios Rivera. (2014). *Agua de niebla, Nuevas Tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. Chile: Impresora La Discusión S. A.
- ✓ Pilar Cereceda. (2000). *Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural*. Revista Medio Ambiente y Desarrollo, Cipma, XVI, 51-56.

- ✓ Sánchez Cabanillas, José Arturo. (2018). *Atrapanieblas tecnología para el atrapamiento de agua, una experiencia exitosa para las políticas públicas en el distrito de Villa María del Triunfo, Lima 2018*. Ciencias Empresariales, 1, 1-95.
- ✓ Francisco A. Squeo, Nancy Olivares, Sandra Olivares, Alberto Pollastri, Evelyn Aguirre, Ramón Aravena⁴, Carmen Jorquera y James R. Ehleringer. (1999). *Grupos funcionales en arbustos desérticos del norte de Chile, definidos sobre la base de las fuentes de agua utilizadas*. Grupos funcionales en arbustos desérticos definidos en base a las fuentes de agua utilizadas, 1, 2-16.
- ✓ Juan Antonio Pascual, María Francisca Naranjo, Reynaldo Payano, Ojilve Medrano. (2011). *Tecnología para la recolección de agua de niebla*. *Tecnología para la recolección de agua de niebla*, 1, 5-21.
- ✓ César A. García-Ubaque, Martha L. Vaca-Bohórquez y Juan C. García-Ubaque. (2013). *Factibilidad técnica y de salud pública de la recolección de aguas nieblas: Estudio de caso*. Rev. salud pública, 13, 366-373.
- ✓ Arcadio Monroy-Ata¹ y Balbina Vázquez-Benítez. (2014). *Jardín xerófito para divulgación científica*. D.R. © TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 17, 155-159.
- ✓ Ana L. Bautista-Olivas, Jorge L. Tovar-Salinas, Oscar L. Palacios-Vélez, Oscar R. Mancilla-Villa. (2011). *La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico*. Artículo en Agrocienza, 1, 293-301.
- ✓ Soto. *Captación de agua de las nieblas costeras (Camanchaca), Chile*. Chile: Estudio.

- ✓ Cerceda, Hernández, Leyva y Rivera. (2014). *El agua de niebla, Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. Chile: Estudio.
- ✓ Mendoza y Castañeda. (2014). *Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal*. Colombia: Estudio.