



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BÁSICOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE
NIEBLA, CASO DE ESTUDIO LAS VERAPACES**

Oscar Alejandro Rivera Ayala

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BÁSICOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE
NIEBLA, CASO DE ESTUDIO LAS VERAPACES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OSCAR ALEJANDRO RIVERA AYALA

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BÁSICOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA, CASO DE ESTUDIO LAS VERAPACES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 de mayo de 2017.

Oscar Alejandro Rivera Ayala



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
29 de mayo de 2017

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BÁSICOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA, CASO DE ESTUDIOS LAS VERAPACES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Oscar Alejandro Rivera Ayala, quien contó con la asesoría del Ing. Claudio César Castañón Contreras.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

Ing. Claudio César Castañón Contreras
Asesor y Jefe del Departamento de Hidráulica

/bbdeb.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Oscar Alejandro Rivera Ayala IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BÁSICOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA, CASO DE ESTUDIOS LAS VERAPACES da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, julio 2017

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala

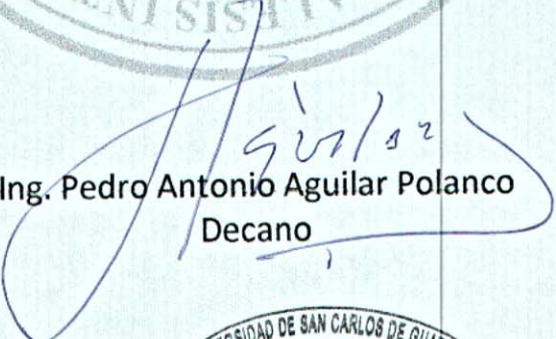


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 299.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS BÁSICOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA, CASO DE ESTUDIO LAS VERAPACES**, presentado por el estudiante universitario: **Oscar Alejandro Rivera Ayala**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2017



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Porque gracias a Él, llegué a este punto de mi vida junto a mis seres queridos.
- Mi padre** Oscar Enrique Rivera Chen, por transmitirme el deseo de superación personal, y darme las herramientas necesarias para lograrlo.
- Mi madre** Gloria Rita Ayala Pineda, por confiar en tu sapo, y darme tu amor y apoyo incondicional día a día.
- Mis hermanos** Diego y Rita Rivera, por apoyarme cada vez que necesite de ustedes.
- Mis abuelos** Por aconsejarme, corregirme y apoyarme en cada momento cuando los necesité.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por corregir mi camino, contribuyendo a mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Mi familia

Tíos y primos, por ser el complemento esencial de mi desarrollo y formación.

Mi familia Muñoz

Tío Roger, tía Flori y Rogelito, por darme el hogar y la compañía necesaria en esta etapa de mi vida.

Mis amigos

Por su amistad y por compartir los buenos momentos.

Mi asesor

Ing. Claudio Castañón, por apoyarme en el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. EL AGUA: RECURSO LIMITADO	1
1.1. Disponibilidad	2
1.2. Actualidad.....	4
1.3. Gestión ambiental.....	5
1.3.1. Nivel mundial	5
1.3.2. Nivel nacional	6
1.4. Usos del agua.....	7
1.4.1. Nivel mundial	7
1.4.2. Nivel nacional	8
1.4.2.1. Demanda para riego	8
1.4.2.2. Demanda industrial.....	8
1.4.2.3. Demanda de agua para otros usos.....	9
2. CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA.....	11
2.1. Generalidades	11
2.1.1. Tipos de niebla	11
2.1.2. Ciclo hidrológico	13
2.2. Captación de niebla.....	14

2.2.1.	Condiciones para el aprovechamiento de niebla	14
2.3.	Estimación de agua de niebla	16
2.3.1.	Ecuación flujo másico.....	16
2.3.2.	Neblinómetros	17
3.	ATRAPANIEBLAS	21
3.1.	Antecedentes históricos	21
3.2.	Principios básicos.....	26
3.3.	Eficiencia de colección	26
3.4.	Elementos que conforman el sistema	29
3.4.1.	La malla.....	31
3.4.2.	Estructura soportante	32
3.4.3.	Almacenamiento y distribución.....	33
3.5.	Impacto ambiental	34
3.6.	Características de ubicación y localización	34
4.	ESCENARIOS DE ESTUDIO.....	37
4.1.	Purulhá, Baja Verapaz	37
4.1.1.	Ubicación y localización	37
4.1.2.	Situación económica y de pobreza.....	38
4.1.3.	Servicios de agua y drenajes	39
4.1.4.	Climatología	40
4.1.4.1.	Zonas de vida.....	40
4.2.	Cobán, Alta Verapaz	40
4.2.1.	Ubicación y localización	41
4.2.2.	Situación económica y de pobreza.....	42
4.2.3.	Servicios de agua.....	43
4.2.4.	Climatología	44

5.	CASOS DE ESTUDIO	45
5.1.	Descripción.....	45
5.2.	Ubicación.....	46
5.3.	Cronograma general del proyecto	48
5.4.	Diseño del experimento	50
5.5.	Construcción de los captadores de niebla.....	50
5.6.	Materiales y métodos.....	51
5.6.1.	Neblinómetro (colector pequeño).....	51
5.6.1.1.	Estructura del neblinómetro	53
5.6.1.2.	Anclaje.....	55
5.6.1.3.	Cosido de malla	56
5.6.1.4.	Elementos de colección, conducción y almacenamiento de agua.....	56
5.6.2.	Colector básico de niebla	57
5.6.2.1.	Elementos de colección, conducción y almacenamiento de agua.....	59
5.7.	Costos	60
5.8.	Orientación de los captadores de nieblas.....	61
5.9.	Medición de las condiciones meteorológicas y de presencia de niebla.....	61
5.9.1.	Observación de presencia de niebla.....	62
5.10.	Seguimiento de la captación de agua de niebla	65
5.11.	Estimación potencial de producción de agua	66
5.12.	Resultados experimentales	70
5.12.1.	Purulhá, Baja Verapaz.....	70
5.12.2.	Cobán, Alta Verapaz.....	73
5.13.	Análisis de resultados.....	75

CONCLUSIONES..... 79
RECOMENDACIONES81
BIBLIOGRAFÍA.....83
APÉNDICES.....87
ANEXOS.....89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Disponibilidad de agua dulce en el mundo.....	2
2.	Mapa de cuencas y vertientes de la República de Guatemala.....	3
3.	Representación del ciclo hidrológico	13
4.	Relación de temperatura, humedad relativa y punto de rocío	15
5.	Neblinómetro común	18
6.	Neblinómetro cilindrico juvik.....	19
7.	Colectores colocados en El Tofo.....	22
8.	Atrapaniebla utilizado en Collanac	23
9.	Atrapanieblas en Falda Verde.....	24
10.	Colectores en Tojquia, Huehuetenango.....	25
11.	Flujo de niebla en dirección del atrapanieblas	27
12.	Deposición de gotitas, por intercepción (izq) y por inercia (der).....	28
13.	Desprendimiento de gotas por acción del viento.....	29
14.	Partes que conforman un atrapanieblas.....	30
15.	Malla raschel (sarán).....	31
16.	Tipos de estructuras de un atrapaniebla	32
17.	Canal de distribución del atrapanieblas.....	33
18.	Ruta de ciudad capital hacia Purulhá, Baja Verapaz.....	38
19.	Ruta de ciudad capital hacia Cobán, Alta Verapaz	41
20.	Vista del terreno donde se ubicaron los atrapanieblas.....	47
21.	Implementación de colectores en aldea Chinahichab	47
22.	Cronograma de trabajo	48
23.	Malla raschel 35 % sombra	52

24.	Vista de los tubos utilizados en la estructura y su conformación	54
25.	Vista de los anclajes utilizados	55
26.	Vista del cosido de malla	56
27.	Materiales empleados en la conducción del agua	57
28.	Vista del atrapanieblas y su conformación.....	58
29.	Vista de la estructura del atrapanieblas	59
30.	Vista de los colectores en funcionamiento.....	65
31.	Recolección de Captación, Purulhá	72
32.	Captación y temperatura.....	72
33.	Recolección de captadores, Cobán	74
34.	Comportamiento de recolección y temperatura	75

TABLAS

I.	Consumo anual de agua para uso industrial por departamento (en m ³)	9
II.	Uso y potencial del agua en Guatemala	10
III.	Ventajas y desventajas de los atrapanieblas	34
IV.	Actividades económicas	39
V.	Zonas de vida en el municipio de Purulhá	40
VI.	Actividades económicas	42
VII.	Tenencia de servicio de agua en los hogares del municipio de Cobán ..	43
VIII.	Tipo de servicio de agua en los hogares del municipio de Cobán	44
IX.	Costos de elaboración	60
X.	Seguimiento de condiciones meteorológicas en Purulhá.....	63
XI.	Seguimiento de condiciones meteorológicas en Cobán	64
XII.	Resultados de captación Purulhá	71
XIII.	Resultados de captación en Cobán	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Grados centígrados
F	Grados Fahrenheit
Kg/m³	Kilogramo por cada metro cubico
Kg/s	Kilogramo por segundo
Km²	Kilómetro cuadrado
L/m²-dia	Litro por metro cuadrado de malla al día
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m³/habitante/año	Metro cúbico por habitante al año
m³/s	Metro cúbico por segundo
mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
UV	Ultravioleta

GLOSARIO

Acuífero	Es un reservorio de agua que está ubicado debajo de la superficie terrestre.
Advección	Transporte de las propiedades de una masa de aire producido por el campo de velocidades de la atmosfera.
Aerodinámica	Estudia el movimiento del aire y de las acciones que el mismo ejerce sobre los cuerpos que se mueven inmersos a él.
Bidón	Es un recipiente hermético utilizado para contener, transportar y almacenar líquidos.
Canopea	Da nombre al habitat que comprende la región de las copas y regiones superiores de los árboles de un bosque.
Captación	Se denomina al acto y resultado de capturar algo.
Condensación	Proceso en el que la materia cambia de estado gaseoso ha estado líquido.
Demografía	Ciencia que estudia estadísticamente las poblaciones humanas, su estado y sus variaciones.

Embalse	Es un depósito de agua formado de manera artificial en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce.
Escorrentía	Corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce natural o artificial.
FAO	Por sus siglas en inglés, <i>Food and Agriculture Organization</i> , Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.
Hidrófoba	Se le aplica al grupo de moléculas que no presentan afinidad o atracción con el agua.
Histéresis	Oposición que presenta un cuerpo a un cambio de estado, que anteriormente ha sufrido.
In Situ	Es una expresión latina que significa 'en el sitio' o 'en el lugar'.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Per cápita	Es una expresión latina que significa 'por cada cabeza', por persona' o 'por individuo'.

PLAMAR	Plan de Acción para la Modernización de la Agricultura Bajo Riesgo.
Pluvisilva	Formación boscosa caracterizada por una vegetación exuberante, temperaturas bajas y precipitaciones relativamente altas durante todo el año.
Punto de rocío	Temperatura a partir de la cual se empieza a condensar el vapor de agua en suspensión.
SEGEPLAN	Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
Tensión de vapor	Es la presión que la fase gaseosa ejerce sobre la fase líquida de un cuerpo.
Vertiente	Declive de un sistema montañoso por donde corren o pueden correr las aguas de los ríos.

RESUMEN

A pesar de que Guatemala es un país relativamente rico en disponibilidad de recursos hídricos, es frecuente que se den eventos temporales de sequía climatológica e hidrológica, situación que se ve agravada actualmente por una tasa de deforestación de los principales bosques y la contaminación de las aguas superficiales. Problemática que afecta mayormente a los pobladores del área rural que no cuentan con un servicio de agua entubada.

Esta problemática podría ser enfrentada en una parte mediante los sistemas de recolección de agua de niebla, cuyo potencial como fuente complementaria de abastecimiento hídrico aún no es de uso común en Guatemala. Alrededor del mundo se han adelantado proyectos consistentes en la captación de niebla, en Latinoamérica el país pionero en esta tecnología es Chile. El aprovechamiento de la niebla como fuente de suministro de agua se logra mediante los llamados colectores de niebla o atrapanieblas. Estas estructuras logran capturar la humedad existente en la niebla, rocío o brisa convirtiéndola en agua que se puede disponer para diferentes tipos de uso.

El presente trabajo pretende contribuir con el análisis del aprovechamiento del agua de niebla en Guatemala, ya que en él se presentan consideraciones y conceptos básicos sobre el tema, así como el diseño y la implementación del sistema para los casos de estudio en las Verapaces.

OBJETIVOS

General

Implementación de sistemas básicos de captación de niebla, caso de estudio Las Verapaces.

Específicos

1. Presentar información legible sobre el aprovechamiento de agua de niebla, obtenida de la consulta de diferentes medios.
2. Conocer acerca de las diferentes experiencias obtenidas por la implementación de colectores básicos de niebla.
3. Identificar y evaluar los aspectos ambientales significativos para la aplicación de sistemas básicos de captación de agua de niebla.
4. Evaluar el potencial de captación de agua de niebla, al implementar el sistema básico en el caso de estudio de las Verapaces.
5. Identificar el rendimiento de captación del sistema respecto a condiciones climáticas.
6. Indicar la factibilidad de proyectos de captación de niebla, con base al costo e interés social.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad uno de los pilares para el desarrollo poblacional, es contar con agua de calidad suficiente para satisfacer las necesidades básicas. Las fuentes tradicionales cada vez presentan mayor escasez y/o contaminación. La falta de lluvia se suma muchas veces debido a los cambios bruscos que ha experimentado la temperatura en la última década. Existen zonas afectadas por esta problemática que cuentan con una fuente alternativa, la niebla.

Por consiguiente, el presente trabajo ofrece información sobre los recursos hídricos y el aprovechamiento del agua de niebla. En el capítulo uno se desarrolla el tema de recursos hídricos y su situación actual, exponiendo su información a nivel nacional e internacional. Dentro del capítulo dos se describen algunas consideraciones importantes sobre la niebla y su forma de captación.

El capítulo tres aborda la temática de los colectores de agua de niebla o atrapanieblas, se describen sus antecedentes históricos y sus características. La información monográfica de los escenarios de estudio se presenta en el cuarto capítulo.

Por último, en el capítulo cinco se desarrolla la metodología de implementación de los colectores de niebla en las Verapaces. Finalmente, se incluyen las conclusiones y recomendaciones producto del trabajo realizado, así como la bibliografía consultada.

1. EL AGUA: RECURSO LIMITADO

“El agua es un recurso natural imprescindible para la supervivencia y el desarrollo de la humanidad. Es el líquido más importante, sin el cual no se podría vivir. Por tal razón, el 28 de julio de 2010, La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas contempló oficialmente el derecho humano al agua potable y al saneamiento, ya que ambos son esenciales para conservar los estándares de vida digna”.¹

Con el objetivo de reducir a la mitad la cantidad de la población mundial sin acceso sostenible al agua potable. “Los 48 países con menor desarrollo, aún no han alcanzado la meta, aunque se han hecho progresos significativos y el 42 % de esos países han logrado acceder a fuentes mejoradas de agua para su consumo”.²

Son diversas causas que se pueden atribuir a la problemática de la escasez mundial del agua: la contaminación de fuentes convencionales, cambio climático mundial, crecimiento poblacional, mayor explotación del recurso (como se puede evidenciar en los párrafos anteriores), el mal uso, etc. “Sin embargo, la gravedad del asunto no afecta de forma similar, y son precisamente las regiones más empobrecidas de la tierra, las que están observando cómo año tras año, se reducen las condiciones de acceso al recurso hídrico, empeorando sus condiciones de vida, nivel social, económico y medioambiental”.³

¹ Asociación ZABALTEKA de Cooperación y Desarrollo. *Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación*. p. 18.

² Organización Mundial de la Salud (OMS). *El agua*. <http://www.who.int/media centre /factsheets/fs391/es/>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

³ Asociación ZABALTEKA de Cooperación y Desarrollo. *Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación*. p. 21.

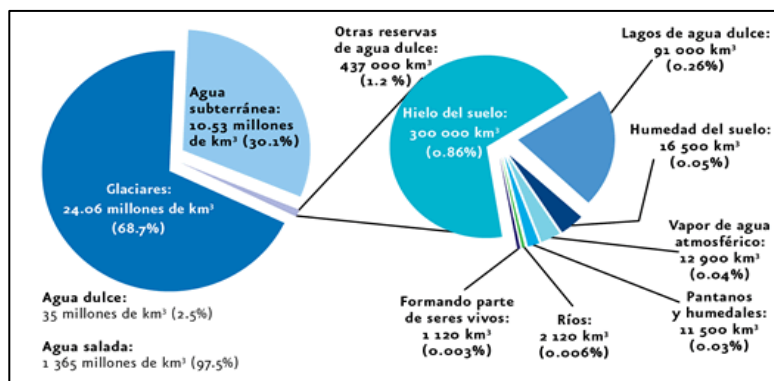
Por consiguiente, se buscan alternativas para aumentar la disponibilidad de agua dulce, las cuales sean eficientes, prácticas, económicas y sobre todo que no afecten al medio ambiente.

1.1. Disponibilidad

Agua dulce es agua que se encuentra naturalmente en la superficie de la Tierra en capas de hielo, glaciares, icebergs, pantanos, lagunas, lagos, ríos y arroyos; bajo la superficie como agua subterránea en acuíferos y corrientes de agua subterránea; y en la atmósfera.

“Se estima que el agua dulce representa apenas el 2,5 % del agua de la tierra, la cual está constituida mayormente en glaciares (aprox. 70 %), aguas subterráneas (aprox. 30 %) y solo el 0,4 % corresponde a aguas superficiales, lo que figura un 0,007 % del agua total del planeta”.⁴

Figura 1. Disponibilidad de agua dulce en el mundo



Fuente: Recursos hídricos mundiales. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/06_agua/cap6_1.html

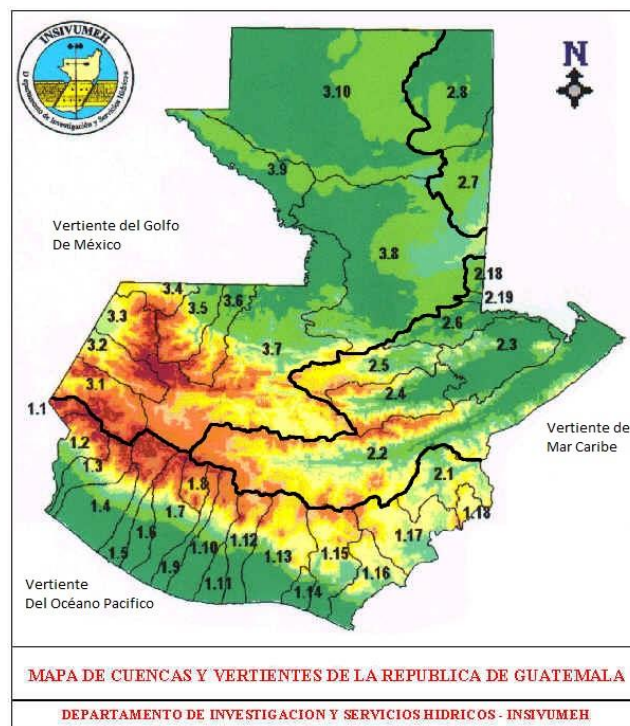
Consulta: 12 de diciembre de 2016.

⁴ Recursos hídricos, GreenFacts. *Resumen del 2do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. p. 2

“Guatemala posee una superficie de agua de 950,0 km² aproximadamente, la cual se distribuye en 23 lagos, 119 pequeñas lagunas y cuenta con más de 191 humedales identificados”.⁵ Hidrográficamente, representado en 3 vertientes:

- Vertiente del Océano Pacífico
- Vertiente del Mar Caribe (Océano Atlántico)
- Vertiente del Golfo de México

Figura 2. **Mapa de cuencas y vertientes de la República de Guatemala**



Fuente: *División hidrológica de Guatemala*. [http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.htm#DIVISIONHIDROLOGICADE GUATEMALA](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.htm#DIVISIONHIDROLOGICADE%20GUATEMALA). Consulta: 15 de diciembre de 2016.

⁵ QUEVEDO CASTILLO, Pablo Alberto. *Propuesta metodológica para evaluar sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en viviendas e instalaciones con alta demanda del suministro, en la República de Guatemala*. p. 21.

- Vertiente del Océano Pacífico: ocupa un 22,0 % del área del país y engloba el 15,0 % de los recursos hídricos disponibles, 18 cuencas hidrográficas y un caudal promedio de 808,0 m³/s.
- Vertiente del Mar Caribe (Océano Atlántico): ocupa un 31,0 % del área del país y engloba el 23,0 % de los recursos hídricos disponibles, 7 cuencas hidrográficas y un caudal promedio de 1010,0 m³/s.
- Vertiente del Golfo de México: ocupa un 47,0 % del área del país y engloba el 62,0 % de los recursos hídricos disponibles, 10 cuencas hidrográficas y un caudal promedio de 1 377,0 m³/s.

Dado todo este recurso, según los balances de disponibilidad hídrica elaborados por el INSIVUMEH y el PLAMAR se estima que el país tiene una oferta de 97 120 millones de m³ de agua al año, lo que indica que aparentemente se encuentra sin riesgo hídrico. Sin embargo, existen zonas donde ya se manifiesta el stress hídrico. “En los lugares comúnmente llamados zonas secas del país: Zacapa, Chiquimula, Jutiapa y en las partes altas del altiplano, la disponibilidad per cápita es alrededor de 8 000 m³/habitante/año”.⁶

1.2. Actualidad

Los recursos hídricos se afrontan contra una abundancia de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por la actividad humana, como la contaminación, el cambio climático, el crecimiento poblacional, crecimiento de cascos urbanos y alteración en los ecosistemas.

⁶ Ibíd.

Como consecuencia de esto, las estadísticas indican que una de cada cinco personas, no tienen acceso a agua potable a precios accesibles, y la mitad de la población mundial no tiene acceso a saneamiento. Cada año mueren entre 3 y 4 millones de personas por enfermedades que transmite el agua, incluyendo que más de 2 millones de niños mueren de diarrea, valores según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, se estima que, para finales de siglo, un 80 % de los habitantes de la tierra no disponga de suministros adecuados de agua potable.

“En Guatemala para el año 2013, se estimó que unas 500 mil familias no tienen acceso al agua ni al saneamiento. Esta problemática se transmite hacia las mujeres del área rural que deben solventar las necesidades familiares y para la agricultura. En la actualidad, solo 2 de las 334 municipalidades cumplen con los requisitos internacionales de potabilización del agua para el consumo humano; asimismo, el 95 % de las fuentes hídricas se encuentran contaminadas”.⁷

1.3. Gestión ambiental

“La gestión del agua es sumamente compleja pues lidia con un recurso móvil, espacial y temporalmente irregular, y a la vez necesita atender demandas diversas y la mayoría de veces, de forma simultánea o sucesiva, y al mismo tiempo prever medidas para mitigar los impactos causados por eventos naturales, extraordinarios y proteger al propio recurso de las acciones socioeconómicas”.⁸

1.3.1. Nivel mundial

“El suministro de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos, forman parte de los objetivos del milenio. Debido a su importancia, existen diferentes organizaciones gubernamentales y no gubernamentales interesadas en el desarrollo y trabajo del tema.

⁷ Centro de Reportes Informativos Sobre Guatemala (CERIGUA). *500 mil familias sin acceso al agua en Guatemala*. <https://cerigua.org/article/500-mil-familias-sin-acceso-al-agua-en-guatemala/>. Consulta: 7 de noviembre de 2016.

⁸ ANDREU, J. *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. p. 212.

El Consejo Mundial del Agua es la organización internacional encargada de aglomerar agencias internacionales: prensa, gobiernos, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y entidades privadas, para el desarrollo conjunto de los programas, subprogramas y proyectos. Dicho concejo ha elaborado en los últimos años, el programa mundial de evaluación de los recursos hídricos, el cual tiene como objetivo desarrollar los instrumentos y competencias necesarias para mejorar la comprensión de los procesos fundamentales, las prácticas de gestión y las políticas que contribuirán a mejorar la calidad y el suministro de agua dulce del planeta”.⁹

1.3.2. Nivel nacional

En Guatemala, existen posiciones encontradas y firmes de grupos de interés respecto al aprovechamiento de las aguas y a cómo se asignan sus derechos de uso y quien asume las externalidades; éstas no siempre son coherentes con las normas constitucionales y legales vigentes y con las diversas expresiones culturales de los pueblos indígenas. “La satisfacción de las demandas es parcial y falta gestionar consistentemente los riesgos y proteger apropiadamente el bien natural. Por ello, se puede asegurar que la crisis de agua en Guatemala es fundamentalmente una crisis de gobernabilidad”.¹⁰

Si bien es cierto que, mediante políticas públicas, leyes e instituciones puede administrarse el agua en función de metas y objetivos nacionales; también, es cierto que, si estas herramientas no se basan en acuerdos socialmente aceptados, ha sido y será imposible avanzar en la construcción de un sistema de gestión y gobernanza eficaz del agua. Por más de cinco décadas se han presentado en el seno del Congreso de la República iniciativas de ley de aguas y durante las dos últimas legislaturas, una iniciativa por año, sin que el

⁹ QUEVEDO CASTILLO, Pablo Alberto. *Propuesta metodológica para evaluar sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en viviendas e instalaciones con alta demanda del suministro, en la República de Guatemala*. p. 21.

¹⁰ SEGEPLAN. *Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH) y de la estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (ENGIRH)*. p. 18.

pleno legislativo haya asumido la responsabilidad de adoptar una ley de aguas que venga a contribuir a resolver situaciones planteadas y a asegurar el aporte del agua al desarrollo.

Por consiguiente, la gestión de agua del país debe enfrentar primero las deficiencias en la coordinación institucional de los distintos organismos responsables de la misma, pero fundamentalmente es importante iniciar con las instituciones que se encuentran dentro de la oficina del presidente (SEGEPLAN y la Secretaría de Recursos Hidráulicos de la Presidencia) dado que tienen nivel ministerial y mayor poder de intervenir en esta lucha.

1.4. Usos del agua

1.4.1. Nivel mundial

En el siglo XX, mientras que la población mundial se ha duplicado, las extracciones de agua se sextuplicaron. Esta condición aumenta el grado de presión sobre los recursos hídricos. Se estima que, en 2025, el hombre consumirá el 70 % del agua disponible. Dicha estimación se realizó tomando en cuenta únicamente el crecimiento demográfico. Aun así, si el consumo del agua per cápita sigue creciendo al ritmo actual, dentro de 25 años el hombre podría llegar a emplear hasta más del 90 % del agua dulce disponible, dejando el resto para las especies del planeta.

“En la actualidad, a nivel mundial, según la FAO la agricultura es la que utiliza el 72 %, de la extracción anual de agua, empleada principalmente para riego; la industria se apodera del 20 % y el uso de abastecimiento público representa aproximadamente el 8 %”.¹¹

¹¹ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Estadísticas del agua en México*. p. 196.

1.4.2. Nivel nacional

“Para determinar la demanda del recurso, es necesario estimar la demanda de los principales usos, que son: consumo de riego (agricultura), consumo humano, consumo industrial y consumo de hidroeléctricas”.¹²

1.4.2.1. Demanda para riego

“La demanda total estimada para ese año en el caso de riego es de 1 886 millones de m³ anuales. Los departamentos que más demandan agua para esta actividad son los de la costa sur y el oriente. La cuenca del río Achiguate, seguida por la de los ríos Motagua y Nahualate son las que más contribuyen, a nivel nacional, con el suministro de agua para riego”.¹³

1.4.2.2. Demanda industrial

Los departamentos cuya industria consume volúmenes considerables de agua son: Quetzaltenango, Escuintla y Suchitepéquez; no obstante, el consumo de agua del área metropolitana es diez veces más que en estos departamentos. Los resultados se representan en la tabla I.

¹² Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA); Instituto de Incidencia Ambiental (IIA); Universidad Rafael Landívar. *Perfil ambiental de Guatemala*. p. 288.

¹³ *Ibíd.*

Tabla I. **Consumo anual de agua para uso industrial por departamento**
(en m³)

Tipo de industria	Agroindustrial		Embotelladoras y de alimentos		Textiles		Otras empresas		Consumo anual (m ³)
Departamento	Consumo (m ³)	Empleados (No.)	Consumo (m ³)	Empleados (No.)	Consumo (m ³)	Empleados (No.)	Consumo (m ³)	Empleados (No.)	
Guatemala	12 024 393	5 878	296 468 272	144 924	6 175 974	114 642	90 747 354	104 750	405 415 993
El Progreso	328 535	161	3 244 432	1 586	80 062	1 485	993 103	1 146	4 646 132
Sacatepéquez	1 741 237	851	21 784 045	10 649			6 667 980	7 697	30 193 262
Chimaltenango	1 281 288	626	21 651 619	10 584			6 627 445	7 650	29 560 352
Escuintla	3 942 424	1 927	45 488 264	22 236	133 436	2 477	13 923 715	16 072	63 487 839
Santa Rosa	952 752	466	21 568 853	10 544			6 602 111	7 621	29 123 716
Sololá	98 561	48	6 157 800	3 010			1 884 870	2 176	8 141 231
Totonicapán	32 854	16	5 843 289	2 856			1 788 599	2 065	7 664 742
Quetzaltenango	1 741 237	851	56 860 330	27 795	507 059	9 412	17 404 643	20 090	76 513 269
Suchitepéquez	1 314 141	642	37 112 332	18 142			11 359 886	13 113	49 786 359
Retahuleu	229 975	112	26 534 821	12 971			8 122 167	9 375	34 886 963
San Marcos	295 682	145	22 280 642	10 892			6 819 985	7 872	29 396 309
Huehuetenango	131 414	64	13 772 284	6 732			4 215 622	4 866	18 119 320
Quiché	65 707	32	6 720 610	3 285			2 057 143	2 375	8 843 460
Baja Verapaz	657 071	321	5 909 502	2 889			1 808 867	2 088	8 375 440
Alta Verapaz	1 346 995	658	19 003 103	9 289			5 816 748	6 714	26 166 846
Petén	262 828	128	12 001 089	5 867			3 673 469	4 240	15 937 386
Izabal	361 389	177	10 130 574	4 952			3 100 915	3 579	13 592 878
Zacapa	657 071	321	6 902 695	3 374	213 498	3 963	2 112 878	2 439	9 886 142
Chiquimula	525 657	257	11 454 832	5 600			3 506 263	4 047	15 486 752
Jalapa	226 689	111	18 225 101	8 909			5 578 606	6 439	24 030 396
Jutiapa	427 096	209	14 500 626	7 088			4 438 564	5 123	19 366 286
Total	28 644 996	14 001	683 615 115	334 174	7 110 029	131 979	209 250 933	241 537	928 621 073

Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA); Instituto de Incidencia Ambiental (IIA); Universidad Rafael Landívar (URL). *Perfil ambiental de Guatemala 2006*. p. 111.

“Las cuencas de los ríos Motagua y María Linda son las que tienen mayor participación en cuanto al suministro de agua para la industria, con el 33,4 % y 16,3 % del volumen total del recurso utilizado en actividades industriales, respectivamente”.¹⁴

1.4.2.3. Demanda de agua para otros usos

“El crecimiento demográfico y la urbanización implican la demanda de servicios directamente relacionados con el recurso de agua, entre los cuales es importante

¹⁴ Ibíd.

mencionar la demanda de agua potable y energía eléctrica. El consumo anual en el caso de agua potable se estimó en más de 325 millones de m³, encontrándose los valores más altos en el área metropolitana.

En el caso de la generación de energía eléctrica, es importante mencionar que si bien las hidroeléctricas requieren una considerable cantidad de agua, también es cierto que la misma se descarga nuevamente a la cuenca, por lo que no afectan el balance global. Sin embargo, se estima que las principales hidroeléctricas utilizan alrededor de 4 511 millones de m³ por año, siendo el embalse de mayor importancia con 460 millones de metros cúbicos.

En términos generales, las cantidades obtenidas según los estudios del perfil ambiental de Guatemala realizado en el 2005 se ven representadas en la siguiente tabla, junto con la proyección para el 2025.¹⁵

Tabla II. Uso y potencial del agua en Guatemala

Demanda del agua (según usos)	Cantidad usada al año 2005 (millones de m3)	Proyección de uso al año 2025 (millones de m3)
Agua potable	326	1 211
Riego	1 886	10 200
Industria	929	3 625
Energía	4 511	15 000
Usos total	7 652	30 036
Excedente/Déficit hídrico	23 530	289

Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA); Instituto de Incidencia Ambiental (IIA); Universidad Rafael Landivar (URL). *Perfil ambiental de Guatemala 2006*. p.

111.

¹⁵ *Ibíd.*

2. CAPTACIÓN DE AGUA DE NIEBLA

2.1. Generalidades

“La niebla se puede entender como una nube que se encuentra a nivel del suelo, es una manera de identificar el vapor de agua que no alcanza la precipitación. Está constituida por gotas muy pequeñas (diámetros menores a 0,1 mm) que se generan por la condensación del vapor de agua y debido a su diminuto tamaño la gravedad no ejerce efecto notorio sobre ellas, quedando suspendidas en el aire.

Se puede conformar por dos diferentes procesos. La que se forma por el aumento del contenido de vapor de agua en el aire se conoce como niebla de evaporación y la que se forma por la disminución de la temperatura hasta el punto de rocío se llama niebla por enfriamiento”.¹⁶

2.1.1. Tipos de niebla

Como se mencionó anteriormente, las nieblas se clasifican debido a sus procesos físicos que las conforman, se encuentran las nieblas por evaporación y nieblas por enfriamiento.

“Las nieblas por evaporación se clasifican en niebla frontal y niebla de vapor”.¹⁷

- Niebla frontal: se genera al agregarle humedad al aire frío, dado que la capacidad del aire para sustentar el vapor de agua a bajas temperaturas es pequeña, se demanda mucha evaporación adicional para producir la saturación y formación de niebla.

¹⁶ SORIANO MATEUS, Manuel Antonio. *Niebla como fuente alternativa para suministro de agua*. p. 197.

¹⁷ *Ibíd.*

- Niebla de vapor: este tipo de niebla se produce al momento que el aire frío se conduce sobre agua cálida y se produce evaporación desde la superficie del agua. El vapor se eleva, al combinarse con el aire frío se satura produciéndose la condensación en forma de vapor.

Según Soriano Mateus, las nieblas por enfriamiento se clasifican en nieblas por advección, radiación y orográficas.

- Niebla de advección: se genera cuando una masa de aire húmedo y cálido se desplazan horizontalmente sobre una superficie fría. La niebla se crea en la parte inferior de la masa de aire que se desplaza. Debido a que lo frío de la superficie hace llegar al punto de rocío a la masa de aire, produciendo niebla.
- Niebla de radiación: se produce en las noches, debido al enfriamiento de las capas de aire que están cerca de la superficie; el vapor contenido en la masa de aire, se enfría hasta llegar al punto de rocío y volverse niebla.
- Niebla orográfica: se genera cuando una masa de aire húmeda y cálida se conduce hacia la montaña; al elevarse por la pendiente de la montaña, se expande y enfría; llegando al punto de rocío, formando niebla.

“Vale la pena mencionar otro tipo de condensación diferente a la niebla (el rocío), pero que también es provechoso para los fines de esta investigación”.¹⁸

¹⁸ Ibíd.

- Rocío: el rocío se genera por la condensación del vapor de agua sobre objetos que puedan disminuir la temperatura por debajo del punto de rocío.

2.1.2. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico, es el proceso natural que describe la circulación del agua en nuestro planeta. Se basa en el constante movimiento o transferencias de masas de agua, tanto de un punto a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido).

“El proceso del ciclo del agua se describe mediante las siguientes fases: evaporación, precipitación, retención, escorrentía superficial, infiltración, evapotranspiración y escorrentía subterránea. Cada una de estas, representa una fuente de abastecimiento para plantas, animales y seres humanos, así como el mantenimiento del medio que lo rodea”.¹⁹

Figura 3. Representación del ciclo hidrológico



Fuente: GreenFacts. *Recursos hídricos, resumen del 2do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.* p. 3.

¹⁹ Recursos hídricos, GreenFacts. *Resumen del 2do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.* p. 3.

“La niebla se encuentra disponible en el proceso de evaporación, es decir, que el volumen de agua que se puede aprovechar, se encuentra en una fracción del 10 % del volumen total generado por esta fase del ciclo hidrológico. Esto debido a que la evaporación se genera con mayor potencial en los mares y océanos, debido a la gran humedad que estos proveen, sin embargo, también se puede producir en zonas costeras y en bosques nubosos, en los cuales se puede implementar sistemas de captación”.²⁰

2.2. Captación de niebla

“Desde la antigüedad, el hombre conforme al tiempo y los conocimientos recopilados se ha enfocado en el análisis de la naturaleza, con el objetivo de desarrollar sistemas ingenieriles para obtener una vida más cómoda y sencilla. Conforme a ello, la obtención de agua a partir de la humedad del aire nace de forma natural, por ejemplo, la nube al entrar en contacto con algún árbol o arbusto va depositando pequeñas gotas de agua sobre las hojas y ramas, estas se van uniendo entre si formando una gota mayor y cuando cogen peso precipitan en el suelo.

El fundamento de la captación pasiva de agua de niebla se basa en la condensación de las diminutas gotas de agua sobre la superficie de una malla (de polipropileno, por lo general). Posteriormente descienden por la malla y se recogen en una canaleta situada en la parte inferior de la estructura, que conduce el agua hacia un depósito.

Los resultados de captación de estas experiencias son diversos, dentro de un rango de valores aproximado de entre 5 y 15 litros por metro cuadrado de superficie de captación y día (L / m² – día), y dependen de factores como las condiciones meteorológicas de cada lugar y de los distintos meses del año”.²¹

2.2.1. Condiciones para el aprovechamiento de niebla

“Las condiciones necesarias para el aprovechamiento de niebla están basadas en los factores climáticos y geográficos. Los factores climáticos a tomar en cuenta son la temperatura, humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento; los factores geográficos son los obstáculos, la orientación, altitud y orografía, los cuales se resumen básicamente en que debe existir niebla densa, persistente y que se conduzca a ras de suelo. En las áreas que cumplen estas condiciones, es probable que las pequeñas gotas de agua que se encuentran suspendidas (1 a 40

²⁰ Miliarium, Ingeniería Civil y Medio Ambiente. (S.F.) *Ciclo hidrológico del agua*. [http:// www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/PHN/Ciclo_Hidrologico.asp](http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/PHN/Ciclo_Hidrologico.asp). Consulta: 11 de octubre de 2016.

²¹ Asociación ZABALTEKA de Cooperación y Desarrollo. *Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación*. p. 22.

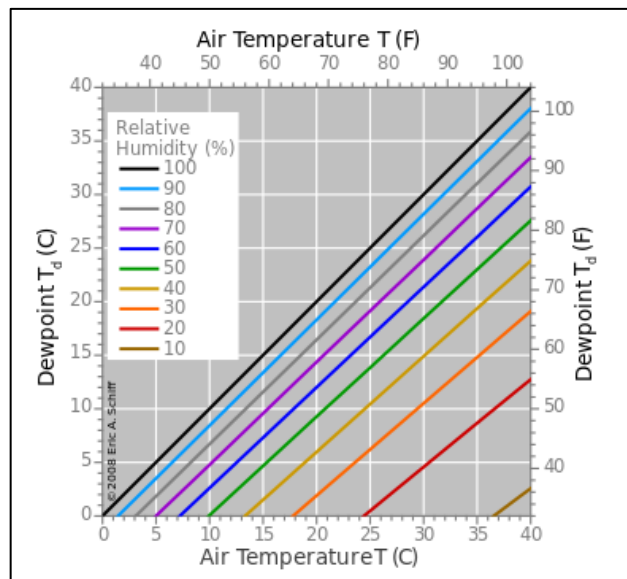
micrones) sean captadas por sistemas de atrapanieblas y su volumen pueda ser aprovechado para diversas finalidades.

El INSIVUMEH y el INDE son los entes que cuenta con una red de estaciones distribuidas por todo el territorio nacional, que permite tener acceso a los registros de temperatura, punto de rocío y humedad relativa.

Bajo este panorama, es de importancia recordar el significado de estos parámetros.

- Humedad relativa: es la cantidad de vapor de agua que se tiene respecto a la cantidad necesaria para llegar al punto de saturación, se expresa en porcentaje. Un aire saturado tiene humedad relativa al 100 % llegando al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento de la humedad relativa con una misma temperatura o por el descenso de la temperatura con una misma humedad relativa.
- Punto de rocío: es la temperatura a la cual se condensa el vapor de agua, generando rocío, niebla, neblina o incluso escarcha si la temperatura es muy baja²².

Figura 4. **Relación de temperatura, humedad relativa y punto de rocío**



Fuente: SORIANO MATEUS, Manuel Antonio. *Niebla como fuente de alternativa para el suministro de agua*. p.19.

²² SORIANO MATEUS, Manuel Antonio. *Niebla como fuente de alternativa para el suministro de agua*. p.19.

“La temperatura es el parámetro que más influye en la cantidad de recolección de agua de niebla. Debido a que las masas de aire caliente que se desplazan por la superficie al entrar en contacto con la masa de aire frío, se condensan y por ende generan niebla. Sin embargo, es importante considerar otros aspectos, como el punto de rocío, velocidad del viento, humedad relativa y la topografía del terreno”.²³

2.3. Estimación de agua de niebla

“La estimación de agua de niebla se puede realizar por medio de dos formas, matemáticamente por medio de la ecuación de flujo másico (teniendo información de los parámetros antes mencionados); y físicamente por neblinómetros”.²⁴

Los neblinómetros brindan información más exacta, debido a que se evalúan en el lugar que se quiere implementar la captación, sin embargo, la disponibilidad de estos dispositivos es escasa, por lo cual, se requiere su elaboración para posteriormente realizar el análisis de estimación.

2.3.1. Ecuación flujo másico

La ecuación de flujo másico se define como la velocidad a la cual la masa de una sustancia pasa a través de una superficie dada, expresado en unidades de masa por unidad de tiempo (Kg/s).

$$m = \rho v A$$

²³ Ibíd.

²⁴ Ibíd.

Donde:

- m = flujo másico (Kg/s)
- v = velocidad media del viento (m/s)
- p = densidad del agua en la niebla (Kg/m³) (se debe determinar)
- A = sección transversal (m²)

La densidad del agua de niebla se puede estimar basado en estudios realizados entre 0,22 g/m³ y 0,73 g/m³. Una primera aproximación es de 0,5 g/m³. También, se debe definir la eficiencia de la recolección.

Por lo tanto, el flujo másico recolectado será:

$$m = pvAE$$

Donde:

- E = eficiencia de recolección de la niebla (%)

Para pasar de flujo másico a caudal líquido, se definirá un periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua líquida equivale a 1 litro, se podrá obtener el potencial de producción en L/m²-día.

2.3.2. Neblinómetros

Es el instrumento que permite medir directamente la cantidad de agua líquida contenida en la niebla.

Generalmente son elaborados con mallas de nylon tipo raschel (comúnmente llamadas sarán), elevadas a más de 1 metro de altura y soportadas sobre una estructura a base de marcos metálicos. Su función es la misma a la de un captador de agua de niebla, la diferencia es que estos se emplean a menor escala, de 0,25 m² a 1 m² de malla.

Figura 5. **Neblinómetro común**



Fuente: *Cosecha de agua*. <http://www.monografias.com/trabajos96/cosecha-agua/cosecha-agua.shtml>. Consulta: 2 de febrero de 2017.

Estos neblinómetros tienen la ventaja de ser duraderos, requieren de poco mantenimiento y se les puede agregar instrumentos que permitan recoger datos adicionales, como la velocidad y dirección del viento.

Para los cálculos de agua recolectada se debe de considerar:

- El promedio diario recolectado
- La época del año
- La dirección del viento

- La altura del neblinómetro

También, existen otros tipos de neblinómetros más elaborados, que pueden captar la niebla en varias direcciones.

Figura 6. **Neblinometro cilíndrico juvik**



Fuente: SORIANO MATEUS, Manuel Antonio. *Niebla como fuente alternativa para suministro de agua.* p.16.

Para realizar un estudio de este tipo es necesario determinar con base a la topografía la dirección predominante del viento, para ubicar estos en la dirección transversal, así tiene un mayor aprovechamiento.

3. ATRAPANIEBLAS

3.1. Antecedentes históricos

“Los sistemas de captación de niebla surgen de la búsqueda de nuevas alternativas que confronten la necesidad de agua en las áreas rurales, en donde, la implementación de proyectos de fuentes convencionales como pozos, ríos y tuberías es muy costosa. Por consiguiente, en 1987 en Canadá, se reúne un grupo de personas preocupadas por la escasez de agua potable para iniciar estudios y proyectos que enfrenten dicha problemática.

En 1998 se realiza la conferencia internacional de niebla y captación de niebla, la cual generó un gran interés que condujo a la formación de FogQuest. Esta compañía fue fundada en el año 2000 por Sherry Bennett y Bob Schemenauer para enfrentar activamente las necesidades, recaudando fondos para generar proyectos a partir de la segunda conferencia de niebla en julio de 2001.

Este grupo fue el que emprendió a nivel internacional el proyecto denominado ‘atrapanieblas’ o ‘colectores de niebla’ que ha beneficiado a bastantes comunidades. A continuación, se expone brevemente el desarrollo mundial de esta tecnología, con ejemplos influyentes.

- Chile – El Tofo / Chungungo (1987 - 2002)

La implementación de los colectores de niebla en El Tofo, surge a razón de que el pueblo no contaba con un sistema de agua potable, y el único suministro consistía en transportar agua en camiones y almacenarla en viejos bidones de aceite. En 1985, tres instituciones chilenas se enfocaron en dicha problemática y solicitaron el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (International Development Research Centre, IDRC) de Canadá, para analizar las maneras de obtención de dicho recurso.

Lo que dio origen a una serie de investigaciones y pruebas piloto para colección de agua por niebla. Y fue hasta en 1992 que la recolección de agua cambió por un chorro de agua de niebla para abastecer más de 100 viviendas. El sistema inició con 50 colectores y conforme el tiempo aumentó alrededor de 100, que proporcionaban un promedio de 15 000 litros de agua potable cada día del año, con una producción pico de agua superior a 100 000 litros por día”.²⁵

²⁵ FogQuest. *Sustainable water solutions*. <http://www.fogquest.org/>. Consulta: 2 de febrero de 2017.

Figura 7. **Colectores colocados en El Tofo**



Fuente: *Chile y sus contrastes*. http://sismedia.cl/images/chungung/chung_04.jpg. Consulta: 8 de agosto de 2016.

“El sistema permaneció en funcionamiento durante diez años aproximadamente y conforme el tiempo, el tamaño del pueblo aumentó desde 300 a más de 600 residentes permanentes. Sin embargo, el desinterés político condujo a desamparar el sistema, careciendo de mantenimiento y reparación, lo que provocó que se propusiera una fuente alternativa de agua convencional para servir a la careciente comunidad. Fruto de ello, los políticos locales han solicitado tubería o planta de tratamiento, con un costo cerca de \$ 1 000 000 USD, como consecuencia, a principios de 2002 había aproximadamente 25 colectores operando y en el 2003 no había ninguno. Por lo que nuevamente el agua se transporta por camión con un costo muy alto.

- Perú – Collanac (1993 – 1994)

Collanac es conocido como un asentamiento disperso en un valle de arena cerca de Lima Perú, en donde la precipitación anual es de unos 5 mm, siendo uno de los desiertos más secos del mundo”.²⁶

²⁶ *Ibíd.*

Figura 8. **Atrapaniebla utilizado en Collanac**



Fuente: *Conseguir agua a partir del aire*. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/inv_sociales/N24_2010/pdf/a17.pdf. Consulta: 8 agosto de 2016.

“Se instalaron grandes colectores de niebla, elaborados con bambú y malla raschel; y se colocaron a una altura comprendida entre 450 y 800 m en la zona de Manchay, durante el período comprendido entre julio de 1993 y abril de 1994. Las tasas de recuperación fueron de 2 a 5 m³/día, con valores más altos en las zonas altas.

- Chile – Falda Verde (2001 – en curso)

Falda Verde es una región costera ubicada al norte de Chile, en donde la precipitación media anual es de 30 milímetros. El proyecto inicio a mediados del año 2001 para abastecer de agua a la localidad. Inicio con seis colectores de niebla ubicados sobre un acantilado de 600 metros de altura, por encima de la superficie agrícola”.²⁷

²⁷ *Ibíd.*

Figura 9. **Atrapanieblas en Falda Verde**



Fuente: BBC Mundo. *Captando la niebla en el desierto chileno.*

http://www.bbc.com/mundo/participe/2009/04/090422_participe_atrapanieblas_gal_am.shtml.

Consulta: 8 de agosto de 2016.

“Una tubería lleva el agua hacia un invernadero localizado a 100 metros sobre el nivel del mar. La cantidad de agua captada por los recolectores fue de 430 litros por día a partir de los seis colectores. En el año 2007, se aumentó el número de colectores a 10, que proporcionaban 600 litros al día para los invernaderos y las plantaciones.

- Guatemala – Tojquia (2006 – en curso)

Guatemala cuenta superficies con topografías muy accidentadas con extensas cadenas montañosas. Ciudades y pueblos se encuentran tanto en los valles como en las crestas de las montañas y laderas. Es por ello que comunidades ubicadas en dichas condiciones de terreno cuentan con la problemática de tener agua potable. Por tal razón, en el año 2006, se implementaron 4 colectores de niebla y rocío, que producen 4 m³ de agua al día durante época seca y un promedio mensual de 11 m³ de agua al día en la temporada de lluvia. El área donde se instaló el sistema es de 160 m².

En el transcurso del 2007 al 2009 se añadieron más colectores de niebla, llegando a 28 en total, que producen un promedio de 5 000 litros de agua potable en temporada seca y mantiene aproximadamente 27 familias de la región y sus animales. En el 2010 se añadieron dos colectores y con la ayuda del aprendizaje del manejo óptimo de las condiciones regionales se ubicaron de manera

estratégica para aumentar la dotación hasta 6 000 litros por día en temporada seca”.²⁸

Figura 10. **Colectores en Tojquia, Huehuetenango**



Fuente: Design4Disaster. *Fog Harvesting*. <http://www.design4disaster.org/2011/02/12/fog-harvesting/>. Consulta: 8 de agosto de 2016.

“El proyecto aún se encuentra en curso, esperando instalar más colectores para aumentar la población de Tojquia.

- Chile – desierto de Atacama (2007 – en curso)

En este árido desierto caracterizado por contar con presencia de niebla en las noches, es por ello que se iniciaron investigaciones de forma educativa y ambiental, de manera que los estudiantes y profesores se capaciten y difundan la práctica de esta técnica para que sea beneficioso a su comunidad propia. Para llevar a cabo dicha investigación, se instalaron dos dispositivos, uno de ellos suministra agua para una plantación, con una recolección diaria de 300 litros de agua potable, el segundo suministra agua hacia una escuela. El proyecto se encuentra pendiente, debido a que su aumento depende del crecimiento poblacional de dicha región”.²⁹

²⁸ Ibíd.

²⁹ Ibíd.

3.2. Principios básicos

“Las precipitaciones conforman la parte principal del ciclo hidrológico, debido a que son las encargadas de regular los demás tipos de fuentes (aguas, superficiales y subterráneas).

Sin embargo, existe un fenómeno conocido como precipitación oculta, se le llama así, debido a que es el producto de la condensación del agua que se encuentra en el medio ambiente, esto aunado a un brusco cambio de temperatura, que da como resultado este fenómeno natural. Este fenómeno se muestra principalmente en las hojas de diversas plantas que tienen en su superficie una sustancia hidrófoba, que da origen a que el agua sobrante (producto de la evaporación antes mencionada) sea repelida y quede sobre las hojas, acumulándose, y después de un pequeño lapso de tiempo, el vapor de agua se transforme nuevamente a su fase líquida, y he ahí, de cómo en las mañanas frescas, es seguro encontrar rocío en la vegetación de cualquier lugar.

El fenómeno de niebla, que es similar al rocío, a diferencia que este se origina de la condensación que surge al encontrarse el agua evaporada con alta densidad con un cambio de temperatura de la tierra. Este fenómeno se presenta principalmente en zonas elevadas, regido por la ley de Dalton que dice: “la evaporación es proporcional a la diferencia entre la tensión de vapor a la temperatura del agua de la superficie evaporante y la tensión de vapor real de la atmósfera en ese instante, e inversamente proporcional a la presión atmosférica total, que es la suma de la presión atmosférica más la tensión de vapor”. Debido a ello, este fenómeno se presenta con una menor o mayor presencia en terrenos secos y con poca vegetación, o en terrenos elevados, con bastante vegetación, como lo es también importante la presencia de cuerpos de agua superficial o subterránea y las condiciones meteorológicas del aire.

Es importante mencionar la diferencia entre niebla y neblina, ya que intervienen factores como la densidad y el tamaño de las partículas de agua. La niebla es más densa, debido a que contiene una mayor cantidad de partículas de agua que la conforman, tornándose de un color grisáceo, es por ello que se tiene una baja visibilidad y no permite el paso de la luz solar al estar bajo su presencia. La neblina es el caso contrario, ya que posee una densidad más baja, tornándose de un color blanco, debido a la finura de sus partículas, y por lo mismo permite una mayor visibilidad y el paso de la luz solar”.³⁰

3.3. Eficiencia de colección

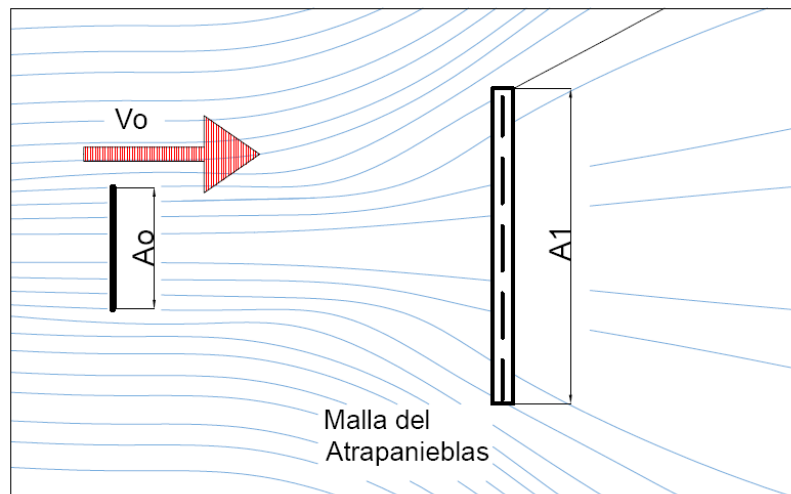
“La eficiencia de colección es un factor muy importante debido a que influye directamente al costo de recolección de agua. Esta se define como la fracción del agua que contiene la niebla que logra arribar al depósito de almacenamiento. La eficiencia de colección se deriva en tres eficiencias: la eficiencia aerodinámica, la eficiencia de deposición y la eficiencia de drenado.

³⁰ GODÍNEZ HINOJOSA, TaiguelLesli. *Recolección de agua por rocío y niebla*. p. 28.

Para comprender la eficiencia aerodinámica de colección hay que tomar en cuenta que la malla es una obstrucción para el flujo de la niebla. La fracción de niebla que pasa a través de la malla depende de su permeabilidad, que es la función inversa del coeficiente o porcentaje de sombra y de las características del tejido de la malla. También, depende de la presión del viento sobre ella, que es la fuerza que hace que la niebla pase a través de la malla. En cambio, la cantidad de gotitas de agua que chocan con los filamentos de la malla es una función directa de la fracción de sombra. Seguido a ello, se puede identificar que existe una fracción de sombra óptima para cada malla: si es muy grande pasará poca niebla, si es muy pequeña, pocas gotas chocaran con los filamentos. En resumen, la eficiencia aerodinámica depende mucho del coeficiente de sombras para una determinada malla”.³¹

“El coeficiente de sombra utilizado para captar el agua de niebla para malla tipo raschel, es de 35 %, debido a que presenta mejor rendimiento ya que permite el paso de mayor flujo de viento y retiene mayor porcentaje de agua”.³²

Figura 11. Flujo de niebla en dirección del atrapanieblas



Fuente: CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p.

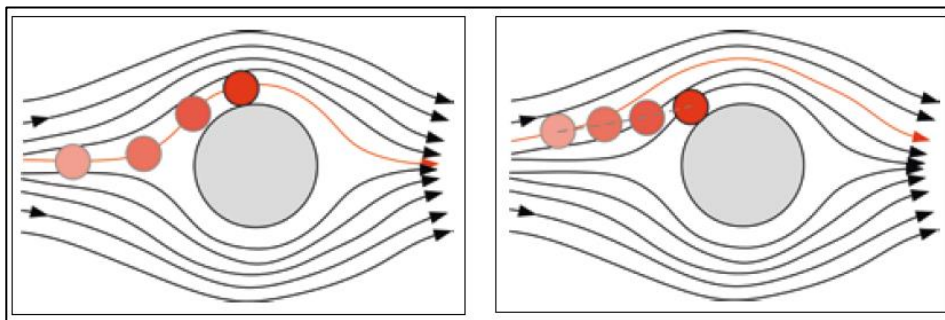
51.

³¹ CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p. 39.

³² SORIANO MATEUS, Manuel Antonio. *Niebla como fuente de alternativa para el suministro de agua*. p.19.

“La eficiencia de deposición toma en cuenta que las gotitas tienden a seguir las líneas de flujo de aire y van a tratar de pasar en los costados de los filamentos. Si una gotita sigue su línea de flujo, pero esta última pasa a una distancia que es menor que la de la de la superficie del filamento con el radio de la gotita, ella chocará y se depositará, como se muestra en la imagen 13. Esto se llama deposición por intercepción. Estas gotitas de agua poseen una densidad aproximadamente mil veces mayor a la del aire común, y si su tamaño y velocidad son suficientemente grandes, estas no tomarán su trayectoria de la línea de flujo si no que se irán derecho, chocando directamente con el filamento. Estos dos mecanismos son más efectivos si el diámetro del filamento es del orden del tamaño de la gota, aproximadamente 1 milímetro”.³³

Figura 12. **Deposición de gotitas, por intercepción (izq) y por inercia (der)**



Fuente: CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p.

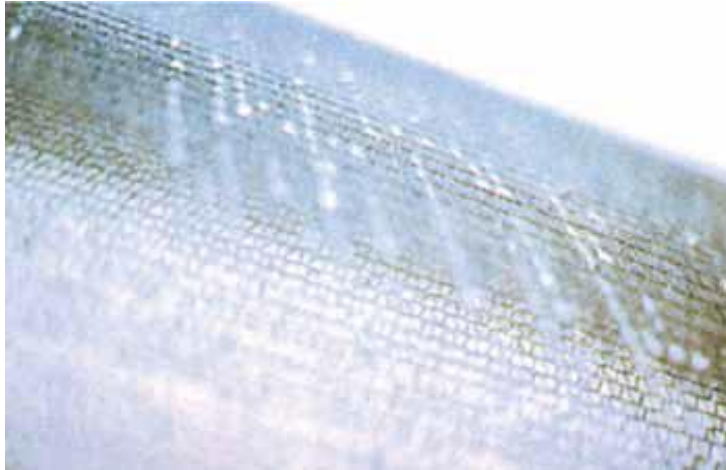
52.

“La eficiencia de drenado que se determina como la razón entre el agua que arriba al depósito de almacenamiento y la que se ha incrustado en la malla. Las pérdidas se deben al viento fuerte, que produce el desprendimiento de las gotas y que caen fuera de la canaleta, y las filtraciones o desbordes de la canaleta”.³⁴

³³ CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p. 39.

³⁴ *Ibíd.*

Figura 13. **Desprendimiento de gotas por acción del viento**



Fuente: CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p.

53.

“El diseño del sistema de almacenamiento aún no ha sido estudiado. Sin embargo, hay que tomar en cuenta factores como el tamaño, evaporación y posibles efectos sobre el agua”.³⁵

3.4. Elementos que conforman el sistema

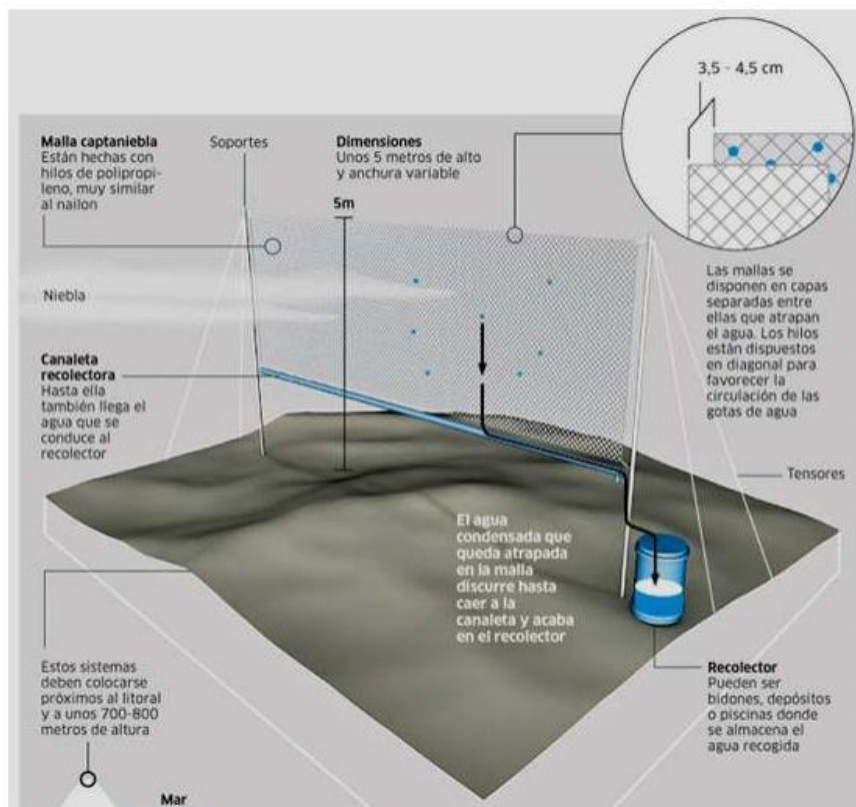
“Un sistema adecuado de captación de agua de niebla se encuentra compuesto por atrapanieblas debido a su costo y facilidad de implementación. Los atrapanieblas son redes rectangulares de gran tamaño formados principalmente por una malla (generalmente plástica) tejida en diagonal, lo que beneficia el transporte de las gotas de agua, cuya textura posee diámetros menores a 2 mm”.³⁶

³⁵ *Ibíd.*

³⁶ GODÍNEZ HINOJOSA, TaiguelLesli. *Recolección de agua por rocío y niebla*. p. 49.

“Estas son colocadas verticalmente, sostenidas mediante una estructura de postes (metálicos o algún material de la región, que cuente con la resistencia necesaria para aguantar el peso) y cables. Cuentan con un canal de recolección en la parte inferior de esta, en el cual, se reúne el agua que cae por gravedad y se transporta hacia un dispositivo de almacenamiento (generalmente plástico).”³⁷

Figura 14. Partes que conforman un atrapanieblas



Fuente: GODÍNEZ HINOJOSA, TaiguelLesli. *Recolección de agua por rocío y niebla*. p. 18.

“Los captadores de niebla funcionan de dos maneras para captar el agua: una es con el rocío y la otra con la niebla. En la primera manera, al haber un cambio

³⁷ Ibíd.

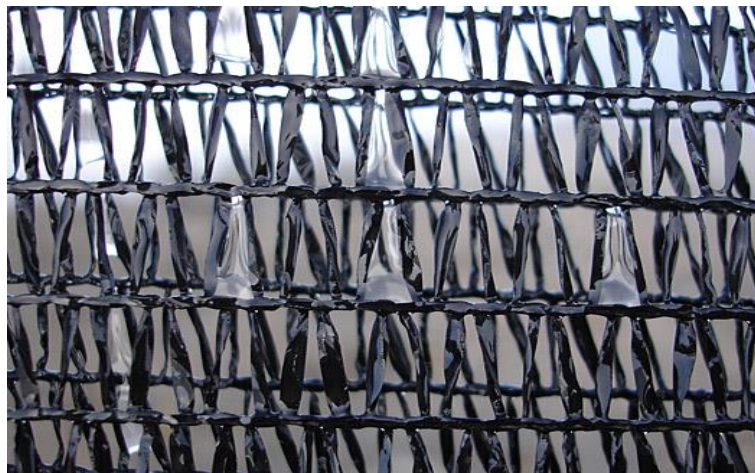
brusco de temperatura expuesto con el contacto de superficies frías, genera que la humedad del aire se condense formando gotas de agua. En la segunda forma, las mallas atrapan el agua que ya se encuentra líquida en forma de gotas pequeñas en la niebla, es por ello que la malla debe estar tejida con diámetros muy pequeños.

La superficie de los colectores de niebla que actualmente se encuentran en funcionamiento, son mallas de nylon y polipropileno”.³⁸

3.4.1. La malla

“Las mallas utilizadas para los colectores básicamente pueden ser de cualquier material resistente a la intemperie, precisamente a la radiación solar. Lo que generalmente se utiliza es la malla raschel fabricada de cintas de polipropileno de aproximadamente 2 milímetros de ancho y alguna decimas de milímetro de ancho. No obstante, hay varias clases de mallas plásticas que pueden ser apropiadas. En general, las mallas de monofilamento cilíndrico son mejores que las de cintas (como la raschel típica) porque cuentan con un mejor comportamiento aerodinámico y son más resistentes”.³⁹

Figura 15. Malla raschel (sarán)



Fuente: FogQuest. *Sustainable water solutions*. <http://www.fogquest.org/>. Consulta: 11 de octubre de 2016.

³⁸ Ibíd.

³⁹ CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p. 53.

“La característica más importante en la malla es el coeficiente o porcentaje de sombra. Si el porcentaje de sombra es muy grande (malla muy compacta) es pequeña la cantidad de niebla que pase a través de ella y la colección será baja. Si el porcentaje es muy bajo, será muy difícil que las gotas de agua choquen con los filamentos y la captura también será baja. Según investigaciones para mallas con filamentos con forma de cinta (malla raschel típica), el óptimo se encuentra de 35 % a 50 %.

El diámetro del filamento de la malla también es importante, debido a que este maneja la eficiencia de deposición de las gotas de niebla y la eficiencia de drenado. Los filamentos aumentan la deposición de gotas, pero bloquean las aberturas entre filamentos. El diámetro óptimo del filamento es el más pequeño (1 o 2 mm).

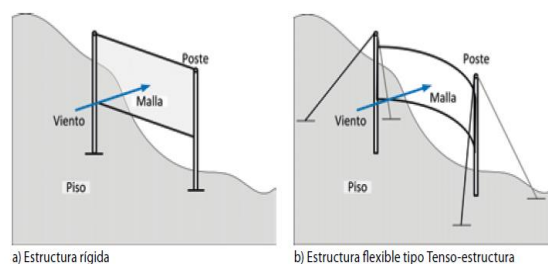
El material de la malla debe de resistir los efectos del sol, del viento y de la corrosión. El plástico es el material más utilizado debido a su costo, pero se les debe aplicar un tratamiento contra la radiación ultravioleta (UV) del sol. También hay mallas metálicas, pero son muy caras”.⁴⁰

3.4.2. Estructura soportante

“La estructura debe resistir el peso propio con la malla saturada de agua, las fuerzas del viento y provisionalmente cargas producidas por personas durante su montaje, mantenimiento y reparación.

Hay dos tipos de estructuras, una básicamente consiste en marcos rígidos a los cuales se fija la malla (estructura rígida) y otra con postes rígidos que tensan la malla (tenso-estructuras), y cables flexibles. Las tenso-estructuras son las recomendadas por FogQuest”.⁴¹

Figura 16. Tipos de estructuras de un atrapaniebla



Fuente: CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p.

⁴⁰ Ibíd.

⁴¹ Ibíd.

3.4.3. Almacenamiento y distribución

“La distribución se da por medio de una canaleta recolectora, que se encarga de recolectar el agua captada por la malla y que posteriormente se decanta. Se recomienda que el material utilizado para la canaleta sea muy flexible, debido a los continuos esfuerzos a los que estará sometido por las fuerzas de los vientos.

El almacenamiento es por medio de un tanque hermético. El dimensionamiento del tanque variará según el uso que se le vaya a dar al agua captada, que puede ser para consumo humano, ganadero, agrícola, industrial o minero”.⁴²

Figura 17. Canal de distribución del atrapanieblas



Fuente: CNN, *Peru Finds new solution to an old problem*.

<https://www.youtube.com/watch?v=FDgLHGRarsQ>. Consulta: 15 de febrero de 2017.

⁴² GODÍNEZ HINOJOSA, TaiguelLesli. *Recolección de agua por rocío y niebla*. p. 49.

3.5. Impacto ambiental

Tabla III. **Ventajas y desventajas de los atrapanieblas**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">• Su construcción no es compleja, puede ser ensamblado en el lugar. La instalación y conexión de mallas y paneles es muy rápida y sencilla.• No necesita energía eléctrica.• Su mantenimiento y reparación es mínimo.• El costo de inversión es bajo.• La tecnología puede ser beneficiosa para el medio ambiente cuando se utiliza en parques nacionales, zonas montañosas, o como fuente de reforestación.• Puede mejorar la calidad de vida y aporta al crecimiento de comunidades en ambientes inhóspitos.• La calidad de agua es mejor que la de las fuentes convencionales para uso doméstico y agricultura.	<ul style="list-style-type: none">• Es necesaria la participación de la comunidad en el proceso de desarrollo, operación y mantenimiento.• Si la zona de recolección no está cerca del punto de uso, la instalación de tubería puede ser muy costosa.• La tecnología es sensible a los cambios climáticos, que pueden afectar el contenido de agua y la frecuencia de ocurrencia.• En algunas regiones costeras, la niebla y rocío no han aprobado los estándares de calidad debido a las concentraciones de cloro, nitrato y algunos minerales.• Hay que tener precaución de no dañar el medio natural donde se va ubicar el sistema, al momento de su construcción.

Fuente: CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. p.

53.

3.6. Características de ubicación y localización

“La ubicación y localización de un sistema de recolección de agua, depende de ciertos factores que se basan en el potencial de extracción, que afectan o favorecen al volumen y frecuencia de agua que se puede extraer de rocío y niebla.

- Topografía: es imprescindible tener un relieve topográfico suficiente para interceptar las nieblas o nubes. Ejemplos: bosques nubosos, montañas costeras, cerros aislados, etc.
- Alivio en los alrededores: es primordial que no haya obstáculo para el viento a pocos kilómetros del lugar.
- Altitud: una altura optima, es aquella que logre contener dos tercios del espesor de niebla. Esta porción de nube normalmente tendrá mayor contenido de agua líquida.
- Orientación de la topografía: es fundamental que la dirección de las laderas sea perpendicular a la dirección del viento.
- Distancia de la costa: si el lugar posee gran altitud y niebla frecuente es irrelevante la distancia de la costa. Sin embargo, lugares de alto relieve cercanos a la costa son sitios preferidos para la recolección de niebla.
- Espacio para los colectores: los colectores deben de tener un espaciamiento de por lo menos 4 metros para permitir que el flujo del viento sople en torno a los colectores.

Para la captación de niebla, es idóneo que los vientos soplen en una dirección”⁴³

⁴³ Ibíd.

4. ESCENARIOS DE ESTUDIO

Con base en la posibilidad de implementación del estudio, el proyecto identificó dos lugares (escenarios) que presentan condiciones acordes a los parámetros necesarios para la aplicación de sistemas para estimar y captar agua de niebla:

- Purulhá, Baja Verapaz
- Cobán, Alta Verapaz

4.1. Purulhá, Baja Verapaz

“Purulhá es un municipio del departamento de Baja Verapaz de la república de Guatemala; forma parte del centro norte del país en la región conocida como corredor biológico del bosque nuboso”.⁴⁴

4.1.1. Ubicación y localización

“El municipio de San Antonio Purulhá tiene una extensión territorial de 248 km², una altitud de 1 570 a 1 600 msnm; sus límites son: norte: con los municipios de Tamahú, Tukurú y Tactic del departamento de Alta Verapaz.; al sur: con Salamá Baja Verapaz y Zacapa.; al este: con el municipio de la Tinta y Panzós, del departamento de Alta Verapaz.; al oeste: con San Miguel Chicaj, Baja Verapaz”.⁴⁵

⁴⁴ Red Nacional de Grupos Gestores. *Estudio de potencial económico del municipio de Purulhá Baja Verapaz*. p. 11.

⁴⁵ *Ibíd.*

Figura 18. **Ruta de ciudad capital hacia Purulhá, Baja Verapaz**



Fuente: *Maps google*. <https://www.google.com.gt/maps?source=tldso>. Consulta: 15 de febrero de 2017.

La localización del predio se encuentra en las coordenadas latitud $15^{\circ}14'13''$ y Longitud $90^{\circ}14'00''$. La distancia entre la ciudad capital es de 164 Km, por la ruta CA-14.

4.1.2. Situación económica y de pobreza

Para el año 2002, la población económicamente activa (PEA) fue de 23,07. Según la rama de la actividad, el 78,00 % de la PEA se dedica a la agricultura, dichos datos se relacionan con el porcentaje de la población que se encuentra en el área rural, correspondiendo al 86 % del total de la población, significando que la población del área rural se dedica a la agricultura. Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IV. **Actividades económicas**

Actividad económica	%
Agricultura	78
Minería	0
Industria	6
Construcción	2
Comercio	8
Servicio	0
Otras actividades	6
TOTAL	100

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). 2002. *XI censo de población y VI de habitación*. p. 15.

El municipio de Purulhá tiene un porcentaje de pobreza extrema de 35,67 % y una desnutrición crónica alta de 58,8 %, siendo su índice de desarrollo humano de 0,512.

4.1.3. Servicios de agua y drenajes

“Drenajes: la municipalidad cuenta con el servicio de drenaje en el área urbana, sin embargo, se ha derivado un problema de contaminación de los ríos y riachuelos del municipio, debido a que todos los drenajes desembocan en ellos, provocando contaminación del ambiente natural, y en especial para las personas que se abastecen de agua de dichos ríos.

Potabilización del agua: el servicio de agua con la cual se abastece la población urbana, ha sido varias veces ampliado, cuenta con una planta de tratamiento para que sea un servicio potable. Sin embargo, en la actualidad según varios estudios de salud pública, revelan que la fuente está contaminada con la bacteria E. coli, causada por heces fecales humanas. Problemática que en ningún gobierno municipal ha logrado solucionar”.⁴⁶

⁴⁶ *Ibíd.*

4.1.4. Climatología

“La cabecera municipal dada la altura a la que se encuentra sobre el nivel del mar, y a lo exuberante de su vegetación y a la proximidad de las montañas que lo rodean, posee un clima frío húmedo, contribuyendo a que se goce de una temperatura agradable y saludable por excelencia. La temperatura oscila entre los 16 y 22 grados centígrados. Con una precipitación media de 1 800 mm al año. Por la topografía del municipio en el área rural se cuenta con los tres tipos de climas existentes: frío, en la cabecera municipal; templado en la parte media del municipio comprendida de Orejuela a La Cumbre de Pampa; y cálido de Pancoc hasta Matanzas. A excepción de algunas comunidades que se encuentran en el trayecto dentro del área protegida de la Sierra de las Minas, por el lado sur del municipio.

La época de verano en el municipio inicia en el mes de marzo y culmina a finales del mes de abril, en los que los días de sol predominan sobre la lluvia, siendo por lo tanto, calurosos, pero sin ser sofocantes, por lo cual aún es posible producir cultivos agro-forestales los doce meses del año, en la parte alta del municipio”.⁴⁷

4.1.4.1. Zonas de vida

Tabla V. Zonas de vida en el municipio de Purulhá

Municipio	Zonas	Zonas de vida	Área (Km ²)
Purulhá	bh-S(t)	Bosque húmedo subtropical (templado)	15,18
	bmh-S(c)	Bosque muy húmedo subtropical (cálido)	270,68
	bmh-S(f)	Bosque muy húmedo subtropical (frío)	100,82
	bp-MB	Bosque pluvial Montano bajo subtropical	131,21

Fuente: Estudios y proyectos. *Unidad de planificación geográfica y gestión del MAGA*. <http://web.maga.gob.gt/sigmaga/estudios-y-proyectos/>. Consulta: 15 de febrero de 2017.

4.2. Cobán, Alta Verapaz

“Cobán, su nombre proviene del vocablo del idioma “Q’eqchi”, que significa “entre nubes”, debido a que la región es muy lluviosa, incluso solía haber una llovizna perenne, que duraba hasta varios días llamada por los lugareños “chipi chipi”. Hoy en día, debido a la tala de los bosques este fenómeno es menos común y las

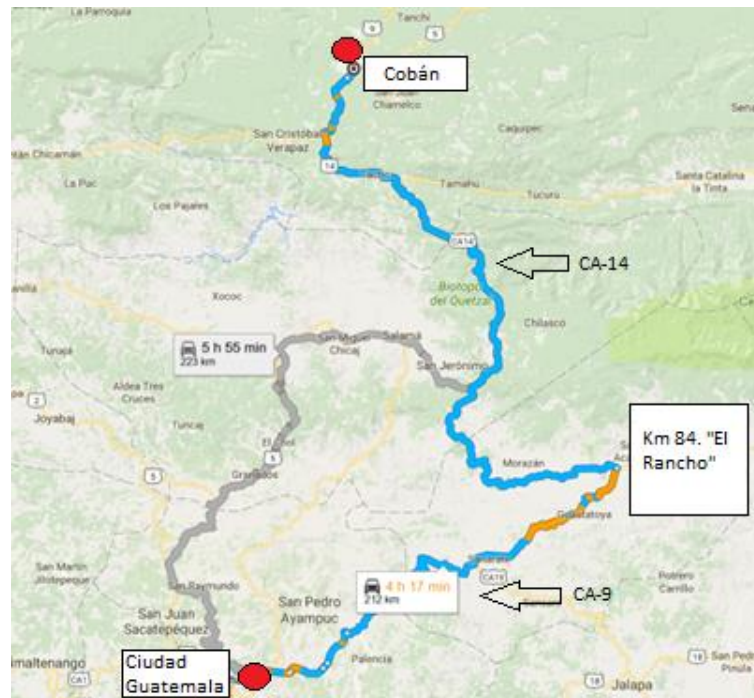
⁴⁷ *Ibíd.*

temporadas lluviosas son más rebosantes, pero menos constantes. La ciudad de Cobán es la cabecera del departamento de Alta Verapaz”⁴⁸.

4.2.1. Ubicación y localización

La ciudad está ubicada a 216 km de la ciudad de Guatemala. Limita al norte con Ixcán, municipio de Quiché; al sur con Tamahú, Tactic, Santa Cruz y San Cristóbal Verapaz; al oriente con: Chisec, San Pedro Carcháy San Juan Chamelco; y al poniente con: Uspantan, municipio de Quiché.

Figura 19. Ruta de ciudad capital hacia Cobán, Alta Verapaz



Fuente: *Maps google*. <https://www.google.com.gt/maps>. Consulta: 12 de febrero de 2017.

⁴⁸ VÁSQUEZ SANTOS, Wingston Guillermo. *Diseño de la carretera hacia la comunidad monte blanco y el sistema de abastecimiento de agua potable para los barrios Yalguó, Cantón LasCasas y Bella Vista, Caseríos Chinimlajom y Chaquibejá, Municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz.* p. 32.

Geográficamente se localiza en la latitud norte 15 grados 27 minutos y 23 segundos, longitud oeste 90 grados 22 minutos y 37 segundos.

4.2.2. Situación económica y de pobreza

La población económicamente activa de 7 años y más de edad, es el 31,13 %, de estos, el 73 % son hombres y el 27 % mujeres. La base de la economía del municipio es la agricultura, siendo sus principales cultivos el café y cardamomo. En la siguiente tabla se encuentra los datos del porcentaje que representa cada actividad económica en el municipio.

Tabla VI. **Actividades económicas**

Actividad económica	%
Agricultura	53,81
Comercio	14,26
Servicios	7,26
Construcción	5,38
Industria	5,10
Admón. Pública	3,76
Enseñanza	3,37
Transporte	2,99
Otros	4,06
TOTAL	100

Fuente: *Dirección Municipal de Planificación*. http://www.munisantacruzdelchol.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=73. Consulta: 25 de febrero de 2017.

“Según el mapa de pobreza rural de Guatemala de 2011 realizado por el INE con el apoyo de censos rurales municipales y La Encuesta de Condiciones

de Vida (ENCOVI), indican que Cobán presenta un 26 % de tasa de pobreza extrema”.⁴⁹

4.2.3. Servicios de agua

En el área urbana de Cobán la mayoría de hogares tienen el servicio de agua en tubería, mientras que en el área rural la mayoría de hogares carecen de vital servicio, según se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. **Tenencia de servicio de agua en los hogares del municipio de Cobán**

SERVICIO DE AGUA EN LOS HOGARES (%)			
Área urbana (11 000 hogares)		Área rural (15 392 hogares)	
Tienen agua entubada	No tienen agua entubada	Tienen agua entubada	No tienen agua entubada
81,82	18,18	9,58	90,42

Fuente: *Dirección Municipal de Planificación*. http://www.munisantacruzdelchol.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=73. Consulta: 25 de febrero de 2017.

“El uso exclusivo del servicio de agua por tubería en los hogares, se limita al área urbana, en cambio, en el área rural cuando existe el servicio, generalmente es de uso público por medio de chorros llena cántaros. En el municipio, 56,81 % de la población acarrea agua a su hogar desde una fuente ubicada dentro o fuera de su comunidad, pero es en el área rural donde el acarreo lo realiza más del 80 % de hogares”.⁵⁰ El tipo de servicio de agua, se especifica en la siguiente tabla.

⁴⁹ Ibíd.

⁵⁰ Ibíd.

Tabla VIII. **Tipo de servicio de agua en los hogares del municipio de Cobán**

TIPO DE SERVICIO DE AGUA EN LOS HOGARES (%)					
Chorro en el hogar	Llena cántaros	Pozo	Tonel o camión	Río, lago o manantial	Otro
37,60	5,59	19,24	4,56	19,86	13,15

Fuente: *Dirección Municipal de Planificación*. http://www.munisantacruzdelchol.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=73. Consulta: 25 de febrero de 2017.

4.2.4. Climatología

“El municipio se encuentra en una zona subtropical húmeda. En la parte baja hacia el norte del municipio, el clima es muy húmedo y cálido, con alturas entre los 150 a 700 metros sobre el nivel del mar; en la parte alta hacia el sur, el clima predominante es muy húmedo de templado a frío, con alturas entre los 700 a 1 900 metros sobre el nivel del mar. La precipitación promedio anual es de más de 3 000 milímetros y la humedad relativa mayor al 80 %”.⁵¹

⁵¹ *Ibíd.*

5. CASOS DE ESTUDIO

En el presente apartado, se muestra la implementación de los colectores de niebla en el país, con el propósito de demostrar su funcionalidad y que tan aprovechable pueden ser.

5.1. Descripción

En la actualidad, las cuencas hidrográficas sufren una alta presión, debida al aumento de la demanda del recurso y el grado de contaminación de las fuentes superficiales, lo que provoca un alto grado de desabastecimiento de agua en el área rural. El diseño se plantea como respuesta a la reducción de la oferta hídrica en áreas donde la población no cuentan con acceso al recurso, tienen limitante económica para implementar algún sistema de transporte y poseen condiciones meteorológicas acordes a lo descrito en el capítulo 2.

Para mitigar el problema, en este apartado se propone un sistema de aprovechamiento de agua de niebla de bajo costo, fácil implementación y mantenimiento, como fuente alternativa en la búsqueda del agua. Dicho sistema está conformado por:

- Malla tipo raschel de 35 % de sombra
- Estructura soportante
- Canal de distribución
- Tanque de almacenamiento

Según Soriano Mateus, el coeficiente de sombra utilizado para captar el agua de niebla para malla tipo raschel, es de 35 %, debido a que presenta mejor rendimiento ya que permite el paso de mayor flujo de viento y retiene mayor porcentaje de agua.

Para el diseño de la estructura del colector de niebla, se tomó en consideración su facilidad de transporte, instalación y ejemplificación como modelo base (al final del trabajo se incluyen planos técnicos del diseño); sin embargo, se hace la salvedad que, para la estructura de soporte, canal de distribución y almacenamiento, pueden ser sustituidos por materiales de menor costo y de fácil acceso, que desempeñen una función similar.

5.2. Ubicación

Para el desarrollo del colector se seleccionaron dos lugares que cuenten con un entorno amplio, libre de obstáculos, seguro y accesible. Todo esto con el fin de poder desarrollar el caso estudio sin ningún inconveniente.

En el caso de estudio de Baja Verapaz, se ubicaron los atrapanieblas en la reserva natural privada RamTzul, dentro del bosque nuboso del corredor biológico, localizada en el kilómetro 159 de la ruta CA-14 que dirige hacia Cobán, con coordenadas geográficas latitud 15°12'29.55"N y longitud 90°12'20.54"O.

Figura 20. **Vista del terreno donde se ubicaron los atrapanieblas**



Fuente: elaboración propia.

Para el caso de estudio de Alta Verapaz, se instalaron los colectores en un terreno privado en la aldea Chinahichab ubicada a 8 kilómetros de la cabecera departamental, sobre la ruta que se dirige hacia Chisec, con coordenadas geográficas latitud $15^{\circ}30'44.59''N$ y longitud $90^{\circ}21'21.93''$.

Figura 21. **Implementación de colectores en aldea Chinahichab**



Fuente: elaboración propia.

- Identificación de los escenarios del proyecto

Se realizó en primera instancia por los datos climáticos de las dos regiones, en segunda instancia, por recomendaciones de pobladores del lugar, de la frecuencia de presencia de niebla y finalmente por previa observación.

Para la ubicación de los colectores de niebla, se tomó en consideración aspectos de seguridad, acceso y libre locomoción de la niebla cerca de los mismos.

- Recogida de datos meteorológicos

Cada lugar cuenta con una estación meteorológica cercana. En el caso de Purulhá Baja Verapaz, la estación pertenece al INDE por lo cual los datos fueron solicitados a dicha institución. Así mismo, en el caso de Alta Verapaz, la estación pertenece al INSIVUMEH y ellos brindaron la información.

Por motivos económicos no se implementó una estación meteorológica. Sin embargo, se hace la salvedad que, si se cuenta con capacidad económica para instalar una, se recomienda implementarla.

- Captación de agua de niebla

Los paneles captadores de agua de niebla fueron construidos siguiendo los diseños y las instrucciones cedidas por diversos documentos (los cuales se encuentran en la bibliografía). Se compararon materiales necesarios, y se construyeron las estructuras en un taller de la zona y luego se trasladaron hasta el escenario de estudio, donde fueron levantadas y ancladas al suelo.

Entre los meses de abril y junio de 2016, se logró poner en funcionamiento los captadores en los dos lugares del proyecto, y a partir de ese momento se llevó a cabo el seguimiento del estudio con la recopilación de datos experimentales.

5.4. Diseño del experimento

En la actualidad existen una gran diversidad de diseños de captadores de nieblas, aunque los más extendidos y ampliamente utilizados son los atrapanieblas básicos de distintos tamaños de malla.

Tras un trabajo de revisión bibliográfica, se determinó que el diseño experimental debía ser ensamblable y liviano, para tener facilidad en su traslado. Asimilando las funciones de un atrapanieblas básico.

En la parte de captación de agua atmosférica, el diseño experimental general consta de 2 colectores de niebla, 1 que hará la función de neblinómetro, y el otro que trabajará como un colector convencional. En cada lugar de estudio los colectores se colocaron con la misma orientación, siempre hacia la dirección de donde se estimó que provenía el viento predominante del lugar. Cada colector disponía de su correspondiente depósito de recogida de agua, para analizar la cantidad de recolección de cada uno.

5.5. Construcción de los captadores de niebla

Siendo este proyecto de carácter experimental, se vio conveniente utilizar: por un lado, el neblinómetro de 1 metro cuadrado de superficie de malla, que es la unidad de referencia de captación y por lo tanto, permiten comparar sus resultados de volumen de agua captada con los del potencial de recolección;

por otro lado, también interesa probar el rendimiento de un atrapanieblas de un tamaño considerable.

Como parte del bien social del experimento, se pretende que este sea realizable con materiales que sean sencillos de encontrar. Es por ello que no se tuvo complicación en adquirir todos los materiales necesarios para la construcción de los captadores. Asimismo, los trabajos de corte y soldado de piezas metálicas se realizaron en un taller local.

5.6. Materiales y métodos

5.6.1. Neblinómetro (colector pequeño)

El neblinómetro se construyó empleando tubo de hierro de sección cuadrada de 1 pulgada para la estructura soportante, una canaleta de un tubo PVC de 6" cortado a la mitad y una malla raschel (sarán) del 35 % de sombra.

Figura 23. **Malla raschel 35 % sombra**



Fuente: elaboración propia.

Según Soriano Mateus, el coeficiente de sombra utilizado para captar el agua de niebla para malla tipo raschel, es de 35 %, debido a que presenta mejor rendimiento ya que permite el paso de mayor flujo de viento y retiene mayor porcentaje de agua.

La superficie de captación era de un metro cuadrado e iba colocada a 1,50 metros del suelo.

5.6.1.1. Estructura del neblinómetro

La estructura consta de un soporte vertical y el bastidor.

El soporte vertical se construyó con los siguientes materiales:

- 02 tubos cuadrados de 1" chapa 18, de 3 metros de longitud, los cuales tienen la función de parales.
- 02 tubos cuadrado de 1" chapa 18, de 0,55 metros de longitud. Estos tubos se les diseño un ensamble en la punta, a manera que se puedan unir y quitar cuando uno desee. También, cada tubo se soldó a cada paral, a una altura de 1,90 metros de manera perpendicular. Así se puede conformar un marco que sea ensamblable.

Figura 24. **Vista de los tubos utilizados en la estructura y su conformación**



Fuente: elaboración propia.

Todas las piezas de la estructura fueron pintadas con pintura anticorrosiva a base de polvo de zinc diluida con disolvente para reducir la velocidad de deterioro de los materiales.

5.6.1.2. Anclaje

Los elementos de anclaje ayudan a que el captador resista los vientos y se mantenga en todo momento perpendicular al suelo. Para un neblinómetro se emplearon cuatro lazos unidos a estacas en el suelo y a unas orejas en la punta y se tensaron y amarraron manualmente.

Figura 25. Vista de los anclajes utilizados



Fuente: elaboración propia.

5.6.1.3. Cosido de malla

Tanto en el Neblinómetro como en el colector, se utilizó malla raschel (Sarán) del 35 % de sombra, la cual se le hicieron varios pliegues en los extremos, cociendo estos con hilo de pescar para darle mayor resistencia al momento de amarrarla con el marco de acero.

Figura 26. **Vista del cosido de malla**



Fuente: elaboración propia.

5.6.1.4. Elementos de colección, conducción y almacenamiento de agua

El neblinómetro contaba con un canal a base de un tubo PVC de 4" de diámetro, cortado a la mitad, colocado en la parte inferior del marco. El agua

recogida en la canaleta salía por medio de un bote plástico reciclado, conectado con una tira de malla (la misma utilizada para captar), que desembocaba en un bidón de almacenamiento de 50 litros.

Figura 27. **Materiales empleados en la conducción del agua**



Fuente: elaboración propia.

5.6.2. **Colector básico de niebla**

El colector básico de niebla (atrapaniebla) que se utilizó en el estudio constaba de una superficie de captación de 8 metros cuadrados, colocada a una altura de 1,10 metros sobre el suelo.

Figura 28. Vista del atrapanieblas y su conformación



Fuente: elaboración propia.

Para su construcción, se emplearon tubos metálicos de sección cuadrada de 1 pulgada chapa 16 para la estructura soportante y el método de construcción fue el mismo, a diferencia de las dimensiones. Los parales en este caso son de 3,20 metros de longitud; los tubos soldados perpendicularmente a ellos son de 1 metro de longitud; y ahora se agrega un nuevo tubo unificador de 3,20 metros de longitud, para cumplir con el vano de 5,20 metros.

Figura 29. **Vista de la estructura del atrapanieblas**



Fuente: elaboración propia.

Al igual que el neblinómetro, la malla raschel utilizada fue de 35 % de sombra. Para este caso el tamaño de la malla fue de 1,60 metros de altura por 5 metros de largo, obteniendo los 8 metros cuadrados de malla.

5.6.2.1. Elementos de colección, conducción y almacenamiento de agua

Para recoger al agua captada por la malla del colector, se empleó de la misma manera que el neblinómetro, una canaleta a base de un tubo PVC de 4

pulgadas de diámetro cortado por la mitad longitudinalmente. También se utilizó un bote plástico reciclado, para el retiro del agua de la canaleta, conectado por medio de malla a un recipiente de almacenamiento de 100 litros.

5.7. Costos

En la siguiente tabla se presentan los costos de elaboración de los colectores implementados:

Tabla IX. Costos de elaboración

COLECTORES				
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO / Q	COSTO TOTAL / Q
Tubo cuadrado de 1" chapa 16	2	u	Q 70,00	Q 140,00
Tubo cuadrado de 1" chapa 14	3	u	Q 125,00	Q 375,00
Arandelas	4	u	Q 3,50	Q 14,00
Tornillos 5/8	3	u	Q 5,00	Q 15,00
Media Luna	8	u	Q 5,00	Q 40,00
Sarán 35 % sombra	10	ML	Q 35,00	Q 350,00
Pintura	1	galón	Q 125,00	Q 125,00
SUB - TOTAL				Q 1 059,00
MANO DE OBRA	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO / Q	COSTO TOTAL / Q
Mano de Obra calificada (incluye herramienta)	1	global	Q 200,00	Q 200,00
SUB - TOTAL				Q 200,00
TOTAL				Q 1 259,00

Fuente: elaboración propia.

5.8. Orientación de los captadores de nieblas

Para conseguir una elevada eficiencia en la captación de agua de las nieblas es crucial que los captadores estén orientados perpendicularmente a la dirección del viento que arrastra las nieblas, que suele ser la dirección del viento predominante del lugar.

En este proyecto, el factor económico influyó en la implementación de la estación meteorológica, por lo tanto, no se disponía de datos precisos de la dirección del viento previa a la instalación de los captadores. No obstante, sí se tenía información de los pobladores de la zona que conocían aproximadamente de dónde procedía el viento habitualmente en cada lugar, y en función de dicha información se orientaron los captadores. En el apartado de anexos se muestra en plano la orientación de los atrapanieblas en el escenario de estudio.

5.9. Medición de las condiciones meteorológicas y de presencia de niebla

Como se menciona anteriormente, no se contó con una estación meteorológica. Sin embargo, cercano a cada escenario de estudio se cuenta con una estación meteorológica de propiedad de instituciones autónomas de Guatemala.

Para el caso de estudio de Purulhá Baja Verapaz, se solicitaron los datos meteorológicos al INDE, dado que ellos cuentan con una estación meteorológica cercana al lugar, que mide los datos de precipitación y temperatura.

Para el caso de estudio de Cobán Alta Verapaz, se solicitaron los datos meteorológicos al INSIVUMEH, dado que ellos cuentan con la estación meteorológica más cercana, que mide las variables de precipitación, temperatura, viento, presión atmosférica y humedad relativa.

5.9.1. Observación de presencia de niebla

Para el estudio era importante saber la frecuencia de la presencia de niebla en el lugar y así calcular el volumen de agua recogida por los colectores en un día.

En los dos escenarios de las Verapaces, los colectores fueron instalados dentro de propiedades privadas, las cuales estaban habitadas, los dueños de dichas propiedades aparte de permitir la implementación de los colectores, también, apoyaron en el registro de la presencia o no de niebla. Detallaron los siguientes registros:

Tabla X. **Seguimiento de condiciones meteorológicas en Purulhá**

REGISTRO DE CONDICIONES METEOROLOGICAS - PURULHÁ, BAJA VERAPAZ	
FECHA	OBSERVACIONES
20/04/2016	Instalación. Con presencia de niebla.
21/04/2016	Día cálido, sin presencia de niebla y de algún tipo de precipitación.
24/04/2016	Lluvias leves pero de gran duración en los días anteriores, con presencia de niebla por las mañanas.
27/04/2016	Altas concentraciones de niebla y rocío.
30/04/2016	Altas concentraciones de niebla y rocío.
3/05/2016	Altas concentraciones de niebla y rocío.
6/05/2016	Día cálido, sin presencia de niebla y de algún tipo de precipitación.
9/05/2016	Lluvias leves pero de corta duración en los días anteriores, con presencia de niebla por las mañanas.
12/05/2016	Día cálido, sin presencia de niebla y de algún tipo de precipitación.
15/05/2016	Día cálido, con presencia de niebla por las mañanas.
18/05/2016	Lluvias leves pero de corta duración en los días anteriores, con presencia de niebla por las mañanas.
21/05/2016	Sin niebla y lluvia. Retiro de colectores

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Seguimiento de condiciones meteorológicas en Cobán**

RESULTADOS DE CAPTACION - COBÁN, ALTA VERAPAZ	
FECHA	OBSERVACIONES
2/06/2016	Instalación
3/06/2016	Lluvia de 1/2 hora y alta presencia de niebla
4/06/2016	Lluvia de 1 hora y niebla por la mañana
5/06/2016	Alta presencia de niebla
6/06/2016	Alta presencia de niebla y poca lluvia
7/06/2016	Lluvia leve por la tarde, y niebla por la mañana
8/06/2016	Llovizna de 1 hora y poca niebla
9/06/2016	Llovizna de 1 hora y sin niebla
10/06/2016	Poca lluvia, sin niebla
11/06/2016	Poca lluvia, sin niebla
12/06/2016	No se tomaron datos
13/06/2016	Alta niebla y poca lluvia
14/06/2016	Sin presencia de niebla y lluvia
15/06/2016	Niebla por la mañana
16/06/2016	Lluvia por la tarde, y niebla por la mañana
17/06/2016	Baja presencia de niebla
18/06/2016	Baja presencia de niebla y lluvia
19/06/2016	Únicamente niebla por la mañana
20/06/2016	Únicamente niebla por la mañana
21/06/2016	Poca lluvia, niebla por la mañana
22/06/2016	Llovizna por la tarde y niebla por la mañana
23/06/2016	Lluvia por la tarde y niebla por la mañana
24/06/2016	Día cálido, sin lluvia y sin niebla
25/06/2016	Lluvia por la tarde y niebla por la mañana
26/06/2016	Día cálido, sin lluvia y sin niebla
27/06/2016	No se realizo toma
28/06/2016	Día con lluvias y alta presencia de niebla
29/06/2016	Altas lluvias sin niebla
30/06/2016	Lluvia por la tarde y niebla por la mañana
1/07/2016	No se realizo toma
2/07/2016	Lluvia y niebla por la mañana. Retiro de colectores

Fuente: elaboración propia.

5.10. Seguimiento de la captación de agua de niebla

En el escenario de Purulhá, las muestras se tomaron cada tres días aproximadamente. De manera responsable se realizaba la medición de volumen de agua recolectada en los dos bidones que recogía el agua de los colectores por medio de una jarra medidora, y se sacaba el valor promedio.

Figura 30. **Vista de los colectores en funcionamiento**



Fuente: elaboración propia.

La metodología de recolección de agua es la misma para el escenario de Cobán, la única diferencia es que, para este caso, el periodo de la toma de muestras fue diario.

Las tomas se realizaban aproximadamente a las 8 de la mañana, debido a que la mayor cantidad de presencia de niebla surgía por las noches, en ambos lugares. Aproximadamente a las 9 de la mañana de cada día se disipaba la niebla debido a la radiación solar, lo que provocaba la evaporación del agua en los recipientes de almacenamiento.

5.11. Estimación potencial de producción de agua

Como se mencionó en el apartado 2.3, se estimará el potencial de captación de agua de niebla para las Verapaces. Usando la siguiente ecuación:

$$m = \rho v A \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

- m = flujo másico (Kg/s)
- v = velocidad media del viento (m/s)
- ρ = densidad del agua en la niebla (Kg/m³) (se debe determinar)
- A = sección transversal (m²)

De acuerdo con Montecinos, es posible determinar el potencial de captación de agua de niebla en un lugar determinado, sin tener neblinómetro y recurriendo a la medición de otros parámetros.

Por lo tanto, el flujo másico recolectado será:

$$m = pvAE \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

- E = eficiencia de recolección de la niebla (%)

Para pasar de flujo másico a caudal líquido, se definirá un periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua líquida equivale a 1 litro, se podrá obtener el potencial de producción en L/m²-día.

La velocidad media del viento se toma de los datos brindados por la estación más cercana al lugar de estudio, que cuenta con esta información, identificada como “Cobán”, propiedad del INSIVUMEH. En los documentos anexos se muestra la tabla de datos para la detección de esta variable.

De la tabla XIII, se obtiene una velocidad multianual promedio del viento de 4,5 km/hora, lo que equivale a 1,25 m/s, valor que se asumirá para el cálculo del potencial de producción de agua.

De la misma estación se tomaron los registros de humedad relativa, temperatura y punto de rocío. Datos que se encuentran en el apartado de anexos.

De la información recogida se obtienen los siguientes resultados:

- Humedad relativa: 81 %
- Punto de rocío máxima: 25,4 °C
- Punto de rocío mínima: 13,2 °C
- Temperatura máxima multianual 30,1°C
- Temperatura mínima multianual 9,1 °C

Se puede calcular punto de rocío medio:

$$PR_{medio} = \frac{25,4 + 13,2}{2} = 19,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De la misma manera, la temperatura anual media:

$$PR_{medio} = \frac{30,1 + 9,1}{2} = 19,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De la figura 5, con el punto de rocío medio (19,3°C) y la humedad relativa (80 %), se obtiene la temperatura a la cual se empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, generando niebla, neblina o rocío. En este caso, se obtiene una temperatura de 21 °C, la cual es mayor a la temperatura media multianual encontrada (19,6 °C), lo que indicaría que la probabilidad de formación de niebla es media-alta, debido a que se encuentran en un valor cercano, sin embargo, podemos afirmar que en las zonas más altas de la región es más factible la aparición de este fenómeno.

La densidad de agua en la niebla se toma del rango recomendado por Schemenauer and Joe, 0,22g/m³ a 0,73g/m³, para este trabajo se utilizó 0,5 g/m³.

Usando las siguientes ecuaciones:

$$m = pvA \quad \text{[Ec. 3]}$$

Donde:

- m = flujo másico (Kg/s)
- v = velocidad media del viento (m/s)
- p = densidad del agua en la niebla (Kg/m³) (se debe determinar)

- $A =$ sección transversal (m^2)

También se necesita determinar la eficiencia de recolección, para lo cual se asumirá un valor conservador (10 %).

Por lo tanto, el flujo másico recolectado será:

$$mr = \rho v A E \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

- $E =$ eficiencia de recolección de la niebla (%)

Para encontrar el potencial de producción en L/m^2 -día se convierte el flujo másico a caudal líquido, se define como el periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua tiene un volumen aproximado de 1 Litro.

Remplazando en la primera ecuación se obtiene el caudal másico:

$$m = \left(0,0005 \text{ Kg}/m^3 \right) (1,25 \text{ m}/s) (1 \text{ m}^2) = 0,000625 \text{ Kg}/s$$

Eficiencia de colección: 10 % supuesto

El flujo másico recolectado será:

$$mr = (m)(E) = \left(0,000625 \text{ Kg}/s \right) (10 \%) = 0,0000625 \text{ Kg}/s$$

La producción diaria para una superficie de 1 m² será:

$$mr \text{ diaria} = (mr)(86400s) = 5,4 \text{ Kg/d} - m^2$$

Lo que es equivalente a 5,4 L/d- m².

5.12. Resultados experimentales

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la captación de agua de niebla, según el escenario de estudio. Se hace la salvedad que la cantidad de agua recolectada, también incluye lo obtenido por algún otro tipo de precipitación que se pudo haber generado.

5.12.1. Purulhá, Baja Verapaz

Se realizó la correspondiente recolección de datos y se obtuvo los siguientes resultados:

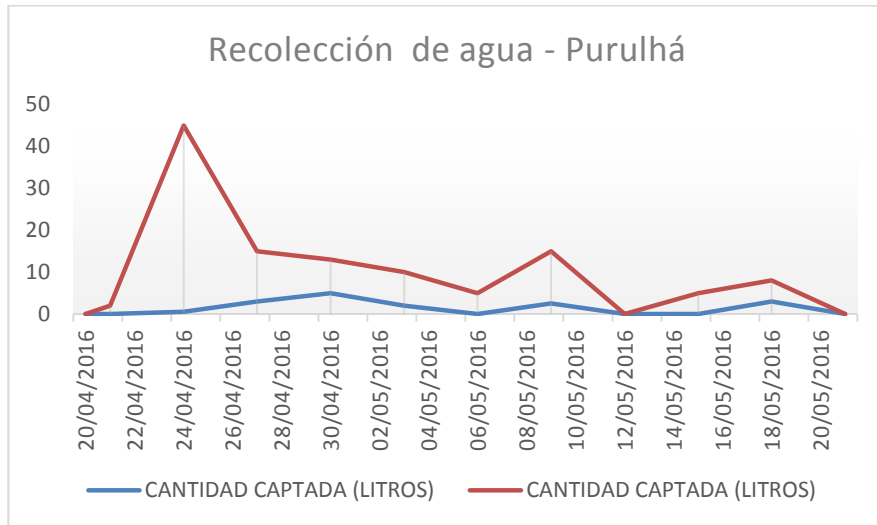
Tabla XII. **Resultados de captación Purulhá**

RESULTADOS DE CAPTACION - PURULHÁ, BAJA VERAPAZ		
FECHA	CANTIDAD CAPTADA (LITROS)	
	NEBLINOMETRO	ATRAPANIEBLAS
20/04/2016	0	0
21/04/2016	0	2
24/04/2016	0,5	45
27/04/2016	3	15
30/04/2016	5	13
3/05/2016	2	10
6/05/2016	0	5
9/05/2016	2,5	15
12/05/2016	0	0
15/05/2016	0	5
18/05/2016	3	8
21/05/2016	0	0
PROMEDIO	1,33	9,83

Fuente: elaboración propia.

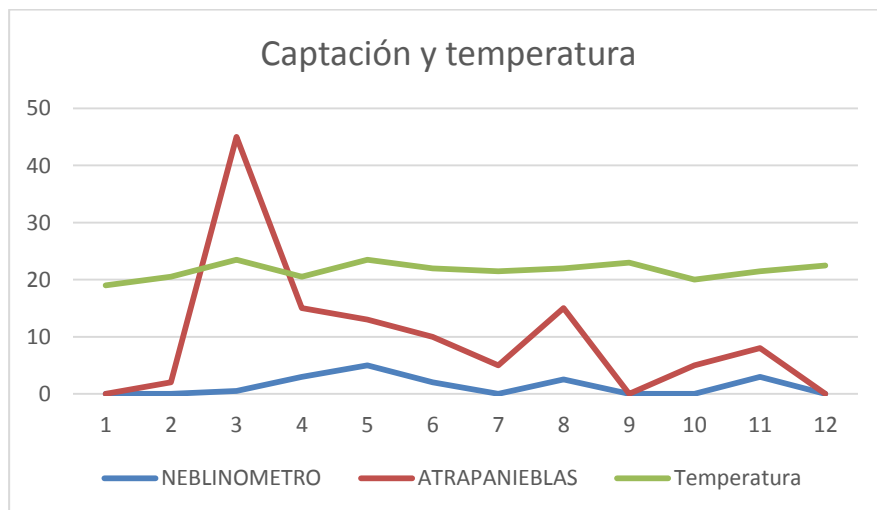
Se logró recoger en promedio 1,33 litros de agua de niebla al día para el neblinómetro y 9,83 litros de agua de niebla al día para el colector. El rendimiento de los captadores se engloba en la figura 31:

Figura 31. **Recolección de Captación, Purulhá**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Captación y temperatura**



Fuente: elaboración propia.

Estos datos representan la cantidad recolectada en 1 día, por lo cual, podemos indicar que se obtuvieron del neblinómetro 1,33 L/d-m². Ahora bien, para representar de la misma manera los resultados del atrapanieblas, se debe dividir la cantidad promedio captada por el área de la superficie de malla (8 m²), obteniendo como resultado 1,23 L/d-m².

5.12.2. Cobán, Alta Verapaz

La recogida de datos realizada, dejó como resultado los siguientes valores:

Tabla XIII. Resultados de captación en Cobán

RESULTADOS DE CAPTACIÓN - COBÁN, ALTA VERAPAZ		
FECHA	CANTIDAD CAPTADA (LITROS)	
	NEBLINÓMETRO	ATRAPANIEBLAS
2/06/2016	0	0
3/06/2016	2	6
4/06/2016	0	8
5/06/2016	0	3
6/06/2016	2	13
7/06/2016	2	10
8/06/2016	2	10
9/06/2016	0	7
10/06/2016	0	2
11/06/2016	0	2
12/06/2016	0	0
13/06/2016	3	8
14/06/2016	0	0
15/06/2016	0	4
16/06/2016	2	8
17/06/2016	0	3
18/06/2016	1	4
19/06/2016	0	4
20/06/2016	2	5
21/06/2016	0	6

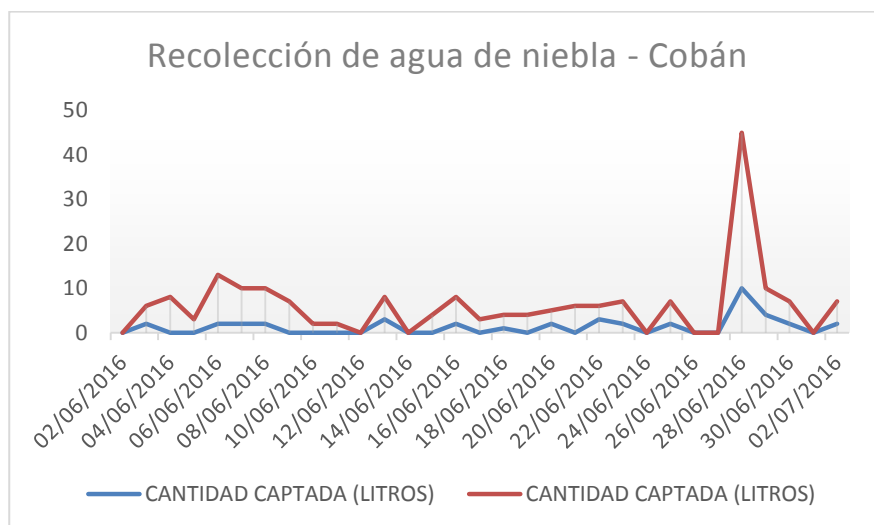
Continuación de la tabla XIII.

22/06/2016	3	6
23/06/2016	2	7
24/06/2016	0	0
25/06/2016	2	7
26/06/2016	0	0
27/06/2016	0	0
28/06/2016	10	45
29/06/2016	4	10
30/06/2016	2	7
1/07/2016	0	0
2/07/2016	2	7
PROMEDIO	1,32	6,19

Fuente: elaboración propia.

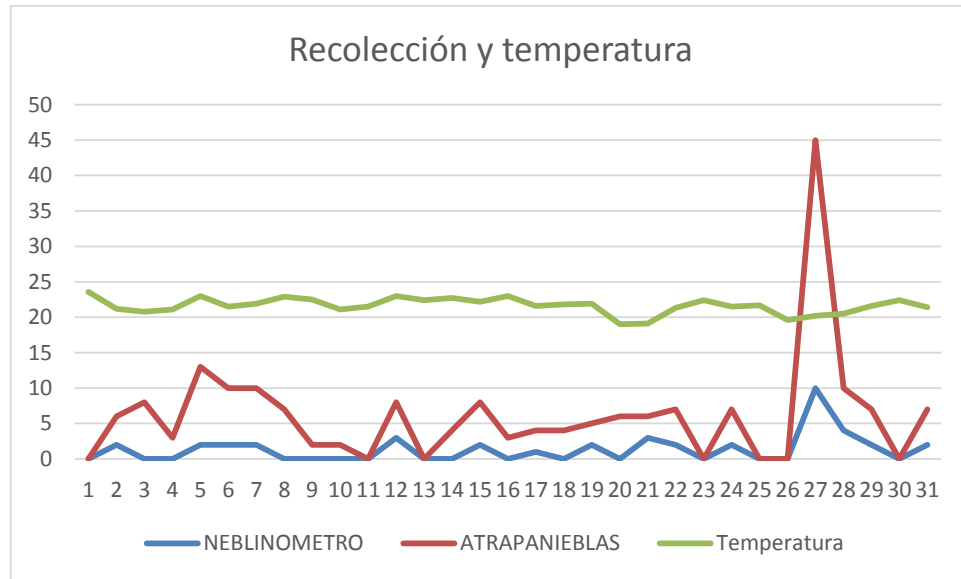
Se logró recoger la cantidad promedio de 1,32 litros de agua al día para el neblinómetro y 6,19 Litros de agua al día para el colector convencional. El rendimiento de los captadores se engloba en la siguiente figura:

Figura 33. **Recolección de captadores, Cobán**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Comportamiento de recolección y temperatura



Fuente: elaboración propia.

Estos datos representan la cantidad recolectada en 1 día, por lo cual, podemos indicar que se obtuvieron del neblinómetro 1,32 L/d-m². Ahora bien, para representar de la misma manera los resultados del atrapanieblas, se debe dividir la cantidad promedio captada por el área de la superficie de malla (8 m²), obteniendo como resultado 0,77 L/d-m².

5.13. Análisis de resultados

A partir del análisis aplicado a los resultados obtenidos en el apartado anterior, se puede inferir lo siguiente:

En primera instancia, se puede observar que si fue posible captar agua de niebla a partir de los colectores implementados. Obteniendo un promedio de 1,33 litros de agua al día para el neblinómetro y 9,83 litros de agua de niebla al

día para colector básico en el caso de estudio de Purulhá; y para el caso de estudio de Cobán se obtuvieron 1,32 litros de agua al día para el neblinómetro y 6.19 litros de agua al día para el colector básico.

Sin embargo, la cantidad de recolección fue muy baja, obteniendo un promedio de 1,28 L/d- m² para el caso de estudio de Purulhá y 1,4 L/d- m² para el caso de estudio de Cobán. Valores que se encuentran por debajo del potencial de producción de agua de niebla estimado que es de 5,4 L/d- m². Estudiando estos valores, podemos identificar que el bajo rendimiento puede ser atribuido a diversas causas, como:

- Las condiciones climáticas, debido a que el estudio se realizó en época seca, tiempo en el cual, los parámetros meteorológicos necesarios para la producción de niebla se encuentran escasos. Se ve reflejado en que la temperatura alcanza a sus valores más altos; la velocidad del viento es muy baja provocando una gran disminución de la humedad relativa de la zona.
- Tipo de malla utilizada. Según la investigación, el coeficiente o porcentaje de sombra es la característica más relevante de la malla, los valores utilizables para la captación de agua de niebla, se encuentran entre el 35 % y 50 %. Para el presente trabajo únicamente se implementó de 35 % de sombra, pudiendo ser más eficiente un porcentaje más alto.
- También, se utilizó la malla comercial de Guatemala, la cual está hecha de cintas de polietileno de aproximadamente 2 milímetros de ancho y algunas décimas de milímetros de espesor. Y según lo investigado, las mallas de filamentos monocilíndricos son más eficientes.

- Conducción y almacenamiento del agua. Por enfocarse en la simplicidad del diseño, se utilizaron materiales reciclados, los cuales pudieron producir pérdidas del agua recolectada. En el traslado del agua de la canaleta recolectora al tanque de distribución, se utilizó la misma malla, lo que pudo ser sustituido por un material más eficiente como tubo o manguera. Para el almacenamiento de agua, se utilizó un depósito de 100 litros abierto, lo que pudo provocar la evaporación del agua.

No obstante, el experimento no refleja solo resultados negativos. Porque tenemos la certeza de decir que los resultados obtenidos representan el valor más bajo posible de la captación, es decir, que en las demás épocas del año se estima que los valores serán más altos.

CONCLUSIONES

1. La información recabada referente a los sistemas de aprovechamiento de agua de niebla, esclarece la importancia que tienen y la perspectiva ascendente que adoptan como fuente alternativa de agua, siendo económica y no dañina al medio ambiente.
2. Se tiene una experiencia acumulada a través de diferentes proyectos aplicados en el mundo, auspiciados por la organización canadiense FogQuest, lo que da cierta confianza en la implementación de esta tecnología.
3. Un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, depende principalmente de las características meteorológicas del lugar, estas son: humedad relativa, punto de rocío y velocidad del viento.
4. Se obtuvieron rendimientos promedios de 1,28 L/d- m² para el caso de estudio de Purulhá y 1,4 L/d- m² para el caso de estudio de Cobán. Valores que se encuentran por debajo del potencial de producción de agua de niebla estimado que es de 5,4L/d- m² para ambos lugares, causa atribuida a que los valores meteorológicos del año de estudio son inferiores a los valores promedio de los últimos 10 años.
5. Al evaluar el rendimiento de los atrapanieblas (1,28 L/d- m² para Purulhá y 1,4 L/d- m² para Cobán) con la inversión que estos requieren (Q.1 259,00), tiende a ser una opción poco atractiva. Sin embargo, los

costos pueden ser manejados a criterio personal, los que se indicaron para esta investigación son como referencia.

6. La probabilidad de que los atrapanieblas generen una cantidad de agua significativa, aumentará proporcionalmente con el número de sistemas implementados o que se enfoquen como proyectos colectivos y alta demanda.

RECOMENDACIONES

A las autoridades municipales y gubernamentales:

1. Contribuir con programas de aceptación y participación en la implementación de sistemas no convencionales de captación de agua de niebla, los cuales pueden ser adaptados a sus necesidades y posibilidades.

A la Facultad de Ingeniería:

2. Incitar a los estudiantes a la investigación de fuentes alternativas de agua no dañinas al medio ambiente, para afrontar la problemática de escases de este recurso.

A los estudiantes de ingeniería:

3. Considerar la presente investigación como base en todos los estudios posibles que se pueden realizar respecto al aprovechamiento de la niebla.
4. Contemplar las siguientes ideas, como posibles puntos de tesis:
 - Determinación del porcentaje de sombra más eficiente para la malla utilizada en la captación de niebla, en las Verapaces.
 - Determinación del uso del agua asociado al aprovechamiento de niebla.

- Implementación de atrapanieblas para sistemas de riego en ciertas localidades del país.

A la iniciativa privada:

5. Impulsar proyectos individuales o colectivos, para ampliar la investigación del agua a partir de la niebla, para verificar la manera de ser más funcionales según las características del país.

Al interesado en el tema:

6. Analizar el lugar de estudio con estación meteorológica para determinar que cumpla con las características necesarias.
7. Utilizar materiales más eficientes, como malla de polietileno con filamentos de sección circular.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANDREU, Joaquín. *Conceptos y métodos para la planificación hidrológica*. España: Cinme, 1993. 391 p.
2. Asociación ZABALTEKA de Cooperación y Desarrollo. *Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación*. Bolivia: Ner Group, 2014. 80 p.
3. AZPURUA, P.; GABALDÓN, Arnoldo. *Recursos hidráulicos y desarrollo*. Madrid: Tecnos, 1976. 512 p.
4. Centro de Reportes Informativos Sobre Guatemala (CERIGUA). *500 mil familias sin acceso al agua en Guatemala*. [En línea]. <<https://cerigua.org/article/500-mil-familias-sin-acceso-al-agua-en-guatemala/>>. [Consulta: 8 de agosto de 2016].
5. CERECEDA, Pilar; HERNÁNDEZ, Pedro; LEIVA, Jorge y RIVERA, Juan de Dios. *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014. 132 p.
6. COLOM, Elisa. *Propuesta para actualizar los contenidos de política nacional y estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos de SEGEPLAN, 2006*. Guatemala: SEGEPLAN, 2010. 35 p.

7. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Estadísticas del agua en México*. México: CONAGUA, 2014. 239 p.
8. FogQuest, *Sustainable Water Solutions*. [en línea]. <<http://www.fogquest.org/>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016].
9. Gobierno de la República de Guatemala. *Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia*. Guatemala: 41 p.
10. GODÍNEZ HINOJOSA, TaiguelLesli. *Recolección de agua por rocío y niebla*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Aragón. 2013. 78 p.
11. GreenFacts. *Recursos hídricos, resumen del 2do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Bélgica: Concepto y maquetación beëtrePub, 2012. 6 p.
12. GWP. *El fenómeno de la pluriculturalidad y gestión integrada del agua en el contexto de la modernidad pluricultural de Guatemala*. Guatemala: 2010. 31 p.
13. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA); Instituto de Incidencia Ambiental (IIA); Universidad Rafael Landívar. *Perfil Ambiental de Guatemala*. Guatemala: IARNA, IIA, URL, 2006. 249 p.
14. Miliarium, Ingeniería Civil y Medio Ambiente. (S.F.) *Ciclo hidrológico del agua*. [En línea]. <<http://www.miliarium.com/>> Bibliografía/

Monografias/PHN/Ciclo_Hidrologico.asp>. [Consulta: 12 de febrero de 2017].

15. MONTECINOS, Sergio. *La niebla, una fuente alternativa de recursos hídrica en zonas semiáridas, con sistemas de captación altamente eficientes y usos no tradicionales*. Chile: La Serena, 2013. 227 p.
16. Organización Mundial de la Salud (OMS). *El agua*. [En línea]. <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>>. [Consulta: 11 de octubre de 2016]
17. QUEVEDO CASTILLO, Pablo Alberto. *Propuesta metodológica para evaluar sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en viviendas e instalaciones con alta demanda del suministro, en la República de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 102 p.
18. Red Nacional de Grupos Gestores. *Estudio de potencial económico del municipio de Purulhá Baja Verapaz*. Guatemala: Red Nacional de Grupos Gestores, 2008. 57 p.
19. SEGEPLAN. *Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH) y de la estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (ENGIRH)*. Guatemala: SEGEPLAN, 2006. 33 p.

20. SORIANO MATEUS, Manuel Antonio. *Niebla como fuente alternativa para suministro de agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. 2015. 81 p.
21. *Usos del agua*. [En línea]. <http://platea.pntic.mec.es/~aabadias/webs0506/mundoagua/usos_del_agua.htm>. [Consulta: 7 de noviembre de 2016].
22. VÁSQUEZ SANTOS, Wingston Guillermo. *Diseño de la carretera hacia la comunidad monte blanco y el sistema de abastecimiento de agua potable para los barrios Yalguó, Cantón Las Casas y Bella Vista, Caseríos Chinimlajom y Chaquibejá, Municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 150 p.

APÉNDICES

- Apéndice 1. **Plano de estudio Purulhá**
- Apéndice 2. **Plano de estudio Cobán**
- Apéndice 3. **Plano de colectores de niebla**

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Velocidad del viento (km/hora)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1994	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
1995	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
1996	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
1997	0,6	5,9	22,7	1,4	1,4	2,2	1,9	2,0	2,0	1,7	1,3	1,9	3,7
1998	1,2	N/D	4,8	N/D	N/D	N/D	N/D	3,5	2,0	2,0	1,4	1,8	2,4
1999	1,5	2,3	2,6	3,0	2,5	1,5	2,1	1,5	1,3	1,5	2,0	3,1	2,1
2000	4,0	2,2	6,4	6,3	3,7	4,1	4,6	3,6	3,7	3,8	3,4	3,1	4,1
2001	3,9	4,8	5,4	5,2	4,9	5,4	4,2	4,0	4,0	3,9	3,7	2,5	4,6
2002	3,9	3,9	5,1	4,9	3,3	3,0	3,6	3,9	3,9	3,4	3,1	4,0	3,8
2003	2,9	4,7	4,9	4,6	3,7	7,4	7,0	4,1	3,2	4,1	4,1	2,9	4,5
2004	3,5	4,3	5,3	4,9	4,4	5,9	N/D	5,2	4,1	3,2	2,0	3,0	4,2
2005	4,2	4,5	4,6	5,4	3,5	N/D	N/D	3,8	3,2	N/D	N/D	N/D	4,2
2006	4,3	5,8	6,3	5,8	5,9	3,3	4,9	5,7	4,6	4,4	4,6	3,8	5,0
2007	4,0	5,3	5,0	6,3	6,7	5,3	5,5	5,1	4,5	4,6	4,9	4,6	5,2
2008	4,8	4,5	5,8	5,2	6,7	5,5	5,7	5,5	5,2	4,8	4,6	4,0	5,2
2009	4,5	5,7	6,9	6,5	5,1	4,9	5,5	4,0	4,9	4,1	3,1	3,2	4,9
2010	4,1	3,0	5,9	6,3	5,7	5,6	5,8	5,2	5,4	3,5	4,3	5,7	5,0
2011	2,7	6,3	5,6	6,3	4,7	5,7	4,5	5,1	4,6	4,2	3,8	4,0	4,8
2012	4,5	3,9	6,3	6,5	5,4	5,4	N/D	5,9	4,5	N/D	2,9	6,2	5,2
2013	4,1	5,2	5,6	6,1	5,4	5,2	5,5	4,0	4,0	3,6	3,6	3,9	4,7
2014	3,9	5,1	5,9	5,9	5,3	5,9	6,4	6,0	5,0	4,8	3,8	4,1	5,2
2015	5,4	5,6	5,6	6,2	6,1	5,5	6,5	6,0	5,7	3,9	3,6	4,7	5,4
2016	ND	6,0	6,3	6,2	6,7	5,4	6,1	5,8	5,1	4,2	3,6	4,6	5,5

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
<http://www.insivumeh.gob.gt/>. Consulta. 25 de febrero de 2017.

Anexo 2. Humedad relativa (%)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	92	90	88	88	87	91	84	91	89	89	92	86	89
1991	81	87	71	73	89	86	80	82	89	89	ND	85	83
1992	86	86	83	84	83	86	83	82	91	85	84	86	85
1993	80	78	72	80	81	81	87	90	88	90	89	81	83
1994	90	88	75	77	82	79	87	84	86	86	82	82	83
1995	88	79	72	ND	80	83	78	73	85	N/D	78	N/D	80
1996	ND	81	83	79	82	88	89	82	88	92	93	91	86
1997	91	78	86	72	80	ND	80	81	86	87	89	88	83
1998	83	78	75	70	78	88	83	70	81	80	83	84	79
1999	82	79	75	71	71	81	74	81	84	83	85	82	79
2000	82	77	69	68	79	82	77	81	82	82	77	83	78
2001	79	81	73	73	76	76	79	78	80	84	82	84	79
2002	80	80	78	69	78	78	81	81	81	84	84	84	80
2003	87	76	69	73	74	78	79	ND	75	83	86	84	79
2004	82	77	79	76	81	80	N/D	79	80	79	81	84	80
2005	83	77	74	71	77	N/D	N/D	81	83	N/D	N/D	N/D	78
2006	81	79	75	74	78	83	82	81	83	83	85	87	81
2007	79	76	80	75	75	80	79	79	82	83	86	81	80
2008	82	80	79	77	77	82	85	83	83	90	86	87	83
2009	82	81	75	76	79	79	80	82	82	83	85	83	81
2010	83	82	80	79	82	82	84	86	85	85	86	85	83
2011	82	82	80	70	80	84	82	81	82	86	84	85	82
2012	87	83	78	73	76	78	79	79	80	85	85	81	80
2013	85	70	78	75	78	82	82	81	82	85	85	85	81
2014	85	81	76	76	83	81	79	79	83	85	87	86	82
2015	87	85	81	77	79	82	78	78	82	84	88	84	82
2016	84	85	78	77	76	81	79	81	82	83	88	84	82

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
<http://www.insivumeh.gob.gt/>. Consulta. 25 de febrero de 2017.

Anexo 3. Punto de rocío máximo (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	21,8	23,6	24,4	26,6	28,2	26,3	25,8	25,4	26,0	24,3	21,7	21,8	24,7
1991	23,9	23,3	28,2	28,8	28,3	27,7	26,6	26,2	25,9	24,4	22,0	21,6	25,6
1992	22,6	24,2	25,5	26,4	25,8	28,0	25,3	25,7	25,1	24,5	24,0	21,9	24,9
1993	22,6	23,9	26,4	26,9	27,2	27,7	25,7	24,9	25,6	24,6	21,7	21,9	24,9
1994	28,0	22,9	25,2	26,3	26,4	26,7	25,4	25,7	N/D	24,6	22,7	21,6	25,0
1995	22,4	23,8	25,3	28,2	29,2	27,2	24,0	28,8	26,5	N/D	N/D	26,3	26,2
1996	22,7	22,5	23,8	26,3	25,7	26,0	25,1	25,2	26,3	23,4	20,5	22,2	24,1
1997	23,1	22,7	24,8	28,6	26,8	23,1	26,0	27,9	26,9	25,6	24,5	23,4	25,3
1998	24,4	25,5	25,8	28,8	29,7	28,5	26,7	24,5	29,3	23,4	23,3	22,3	26,0
1999	22,5	23,5	25,4	28,5	29,1	28,1	26,6	28,1	27,6	25,2	21,4	22,6	25,7
2000	22,7	22,8	26,7	26,7	27,4	25,2	25,7	25,5	27,3	23,3	24,3	21,0	24,9
2001	21,2	22,7	25,8	26,8	27,1	27,1	26,7	26,6	20,8	24,3	22,9	22,8	24,9
2002	23,2	22,9	25,1	26,6	26,3	27,6	26,3	26,2	28,1	25,6	23,1	23,7	25,4
2003	19,0	24,9	27,6	25,0	28,6	28,3	25,4	N/D	27,5	25,9	23,2	28,4	25,8
2004	22,4	24,2	23,3	26,8	26,3	26,8	26,1	26,6	27,3	26,2	22,9	21,5	25,0
2005	20,5	23,9	28,5	27,9	27,3	28,6	26,9	27,3	25,8	24,2	22,0	23,4	25,5
2006	22,8	22,6	25,2	27,0	28,0	25,7	26,3	26,7	26,9	26,4	22,0	22,1	25,1
2007	22,3	25,3	24,3	28,0	27,2	27,4	27,1	27,2	26,4	24,8	21,4	23,5	25,4
2008	22,5	24,9	25,4	27,2	28,5	26,3	26,1	27,6	27,1	22,0	21,5	22,3	25,1
2009	21,5	22,3	24,7	26,9	27,5	27,9	26,9	26,7	27,7	26,6	23,0	23,9	25,5
2010	22,1	24,0	26,1	28,7	27,8	28,2	27,9	27,6	27,2	23,3	22,7	20,8	25,5
2011	23,4	24,2	25,6	28,6	28,9	27,8	27,0	27,8	27,7	23,5	22,9	21,7	25,8
2012	22,4	23,4	25,0	27,6	27,7	28,7	26,8	28,5	26,9	24,5	21,0	23,6	25,5
2013	21,9	24,8	23,9	28,8	27,9	27,7	26,6	26,3	27,0	26,0	22,6	22,6	25,5
2014	20,9	24,4	26,4	27,4	26,1	27,5	26,7	27,2	26,6	25,1	21,4	24,5	25,4
2015	20,6	22,9	24,6	28,1	27,1	27,8	26,9	27,7	26,5	26,3	24,3	24,6	25,6
2016	22,9	21,3	33,8	34,0	32,0	30,2	27,0	27,2	27,0	24,9	22,2	23,4	27,2

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
<http://www.insivumeh.gob.gt/>. Consulta. 25 de febrero de 2017.

Anexo 4. Punto de rocío mínimo (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	12,3	11,0	13,2	13,3	15,4	15,8	14,9	14,8	15,3	14,7	13,9	12,4	13,9
1991	11,9	11,3	11,4	13,5	14,5	16,1	14,7	14,3	15,6	14,8	12,6	13,1	13,7
1992	11,8	11,2	13,0	14,4	14,4	16,0	14,6	14,5	15,5	14,7	13,7	12,5	13,9
1993	11,2	10,5	9,8	13,4	14,2	16,4	14,9	15,6	15,6	14,8	12,9	11,6	13,4
1994	8,0	11,5	12,1	12,0	14,3	14,8	14,4	14,4	N/D	14,0	13,4	13,0	12,9
1995	10,8	10,0	8,9	14,2	15,0	14,6	16,4	16,5	15,5	N/D	N/D	21,4	14,3
1996	10,7	10,1	11,4	14,2	15,4	15,4	15,3	14,1	15,1	15,8	13,8	12,5	13,7
1997	11,2	11,8	12,9	14,1	13,8	16,1	16,0	11,6	16,1	15,5	15,4	12,6	13,9
1998	12,8	11,3	13,2	15,3	13,2	16,0	16,1	14,1	17,3	16,0	15,0	12,0	14,4
1999	10,6	10,2	10,8	12,4	13,0	15,5	14,7	14,8	15,4	14,4	11,3	10,3	12,8
2000	8,7	9,1	9,2	10,3	14,5	14,7	13,5	14,3	15,3	14,0	12,9	11,2	10,6
2001	8,7	11,3	9,7	12,0	14,7	14,0	14,4	14,7	14,1	13,6	12,3	12,9	10,5
2002	11,3	12,2	11,6	11,9	14,5	16,2	16,0	15,4	16,7	15,0	13,5	13,5	14,2
2003	12,2	12,1	12,5	17,5	15,2	16,6	15,0	N/D	15,5	15,8	14,1	3,8	13,7
2004	12,0	12,6	13,4	13,0	15,1	15,2	N/D	14,3	14,6	14,7	12,3	10,1	13,4
2005	9,1	9,6	13,4	12,9	14,7	N/D	N/D	14,9	15,3	N/D	N/D	N/D	12,8
2006	11,0	9,8	11,3	12,7	15,2	15,8	15,2	15,2	14,8	15,5	12,5	16,7	13,8
2007	12,1	12,0	12,6	14,4	14,6	15,7	15,1	15,3	15,3	14,4	13,2	10,5	13,8
2008	11,0	11,4	12,3	12,5	14,5	16,0	15,6	15,2	16,9	14,8	11,7	11,3	13,8
2009	10,5	10,7	10,4	13,5	15,1	15,7	16,1	15,2	15,4	14,4	12,9	11,9	13,5
2010	10,6	13,3	12,4	15,4	16,6	16,3	16,0	15,9	15,6	13,2	11,6	9,1	13,8
2011	11,2	11,7	11,8	12,5	14,6	16,0	16,0	15,7	15,9	14,4	12,1	11,6	13,6
2012	11,3	12,6	10,7	12,1	13,6	15,0	14,3	15,6	14,2	14,8	13,3	12,0	13,3
2013	13,2	12,4	12,4	14,8	15,1	16,7	15,9	15,9	16,5	16,2	14,8	13,6	14,8
2014	11,4	12,4	12,4	13,2	15,6	15,4	14,6	14,6	16,3	14,9	13,2	12,6	13,9
2015	12,3	11,2	11,3	13,4	13,4	15,5	14,9	13,8	14,7	15,3	14,5	13,5	13,7
2016	12,0	11,8	10,0	8,6	10,2	13,0	14,3	14,1	13,8	13,5	12,8	12,9	12,3

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
<http://www.insivumeh.gob.gt/>. Consulta. 25 de febrero de 2017.

Anexo 5. Temperatura máxima mensual (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	25,4	28,6	32,0	31,0	31,8	28,6	27,4	28,0	29,4	27,2	29,4	28,4	28,9
1991	29,6	29,4	33,2	34,0	31,2	31,0	30,0	29,2	38,4	29,2	26,4	26,2	30,7
1992	28,0	30,4	29,4	32,0	31,4	31,8	28,2	27,4	28,2	27,0	30,0	27,8	29,3
1993	27,4	29,4	32,4	33,2	33,5	31,5	27,0	27,4	28,8	30,0	27,0	27,2	29,6
1994	28,8	29,0	31,0	30,8	31,6	31,2	27,8	27,8	29,4	30,6	27,2	23,4	29,1
1995	27,8	31,0	32,0	33,4	31,2	30,8	29,0	31,2	29,4	30,6	N/D	N/D	30,6
1996	29,6	29,4	31,6	30,0	28,8	28,2	27,0	28,2	29,8	27,8	28,4	28,0	28,9
1997	27,0	27,8	28,6	32,5	31,5	31,7	28,3	27,9	30,0	32,3	30,4	30,7	29,9
1998	30,0	33,3	33,7	36,0	35,6	33,8	29,3	30,6	32,0	28,6	28,3	27,4	31,6
1999	28,6	28,0	32,2	31,8	33,4	30,6	30,6	31,0	31,6	30,8	26,8	27,6	30,3
2000	29,4	27,6	33,4	32,6	31,2	29,8	27,8	28,6	30,0	30,0	30,5	25,0	29,7
2001	27,6	29,0	32,2	32,0	31,2	31,0	30,0	29,1	30,4	31,0	29,6	28,6	30,1
2002	28,2	29,6	31,4	30,2	30,6	31,0	28,4	28,2	31,0	29,4	29,4	29,4	29,7
2003	28,0	30,0	33,0	34,0	33,6	31,5	29,0	N/D	30,0	30,6	29,2	28,4	30,7
2004	29,8	30,4	28,6	34,0	30,3	31,4	N/D	28,6	30,6	30,5	30,2	29,2	30,3
2005	29,4	29,8	32,6	34,0	32,0	N/D	N/D	31,6	29,2	N/D	N/D	N/D	31,2
2006	30,0	29,6	31,2	31,2	32,6	28,2	28,6	29,5	29,0	30,6	29,2	29,0	29,9
2007	26,2	31,0	31,6	33,8	31,6	31,2	30,2	31,2	29,6	30,4	26,4	27,8	30,1
2008	28,4	29,4	31,0	31,8	32,0	29,6	N/D	29,6	31,8	28,8	28,8	28,8	30,0
2009	27,2	27,0	32,4	33,4	31,6	30,2	29,6	29,2	31,2	29,2	27,0	30,2	29,9
2010	32,0	31,4	34,8	34,2	32,4	32,8	32,6	32	31,4	29,8	28,8	29,2	31,8
2011	29,2	29,0	32,2	32,2	32,4	31,2	30,2	30,4	31,6	28	28,2	26,8	30,1
2012	28,4	29,6	30,8	32,2	31,0	31,8	28,8	31,2	29,8	28,0	25,6	29,6	29,7
2013	28,2	32,2	33,2	34,8	32,2	30,8	28,6	30,4	30,6	28,2	29,2	28,4	30,6
2014	26,2	27,4	31,0	33,2	31,0	30,2	29,8	28,8	28,8	29,0	28,4	26,8	29,2
2015	27,4	30,2	29,8	34,4	28,8	29,4	28,6	29,6	30,0	21,8	30,6	29,8	29,2
2016	30,0	31,0	33,8	34,0	32,0	30,2	28,0	29,0	30,0	28,4	30,0	29,4	30,5

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
<http://www.insivumeh.gob.gt/>. Consulta. 25 de febrero de 2017.

Anexo 6. Temperatura mínima mensual (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	7,2	6,0	9,8	8,2	12,0	12,8	9,0	10,8	13,0	7,6	10,6	7,4	9,5
1991	8,5	6,4	4,8	8,8	7,4	12,4	10,0	12,0	10,0	12,0	5,0	9,0	8,9
1992	8,4	8,4	9,4	11,0	8,0	13,0	10,8	10,5	12,4	11,0	10,0	7,4	10,0
1993	5,4	4,0	3,6	9,0	10,0	19,2	8,0	13,0	12,6	9,6	7,0	4,6	8,8
1994	8,0	7,2	5,4	9,0	6,8	11,4	10,4	10,4	15,0	8,4	10,6	9,6	9,4
1995	7,2	5,5	5,8	9,6	10,8	10,6	12,0	13,0	15,0	8,4	N/D	N/D	9,8
1996	3,2	5,8	3,6	12,0	13,0	13,2	13,0	9,4	11,6	9,2	9,4	8,0	9,3
1997	7,4	8,4	7,4	11,3	10,5	10,5	12,0	11,6	12,6	12,0	12,0	4,2	10,0
1998	8,5	4,4	4,2	9,4	6,6	13,0	12,6	11,0	13,0	13,0	10,5	9,0	9,6
1999	6,8	4,6	3,8	5,6	7,8	12,4	11,0	12,6	13,0	7,4	4,0	3,4	7,7
2000	4,5	3,4	3,5	5,2	9,0	8,0	6,0	11,0	12,0	8,0	7,4	5,4	7,0
2001	3,0	6,4	4,4	7,0	11,0	9,6	11,6	11,6	12,0	10,6	9,6	7,4	8,7
2002	1,5	6,5	6,8	8,9	10,0	14,4	11,4	10,6	14,0	10,5	4,0	6,8	8,8
2003	7,0	7,0	8,8	6,0	10,0	14,6	12,6	ND	12,6	10,5	7,2	3,8	9,1
2004	8,0	8,4	8,4	6,6	12,8	13,5	N/D	10,6	9,8	8,0	7,0	5,4	9,0
2005	2,0	3,2	10,0	9,4	10,0	N/D	N/D	12,0	13,4	N/D	N/D	N/D	8,6
2006	4,5	2,5	3,2	4,6	11,0	13,6	11,4	10,8	12,5	12,6	3,5	7,8	8,2
2007	7,8	6,0	8,2	11	10,4	11,4	12,0	9,4	13,0	7,6	6,4	4,6	9,0
2008	5,4	4,6	7,8	8,6	10,0	13,4	12,2	12,2	14,6	11,8	7,8	7,6	9,7
2009	3,0	3,2	4,6	10	10,2	13,4	11,4	10,4	12,2	9,6	8,8	6,0	8,6
2010	5,6	8,4	5,6	10	10,8	14,0	14,2	13,8	14,2	9,0	7,0	3,2	9,7
2011	8,4	6,6	4,4	7,0	9,4	12,8	13,2	11,0	13,5	9,8	5,2	5,0	8,9
2012	6,5	9,0	6,3	6,0	10,2	10,2	10,8	13,0	11,0	11,5	8,0	6,4	9,1
2013	9,2	6,0	5,4	9,6	10,6	14,6	14,0	12,0	14,2	14,0	11,2	10,0	10,9
2014	3,0	8,6	9,2	8,6	11,6	12,0	10,6	11,8	13,6	6,4	9,8	6,4	9,3
2015	6,2	6,2	7,6	8,8	10,0	12,4	12,4	9,0	12,4	8,0	11,8	11,0	9,7
2016	4,8	7,8	10,0	8,6	10,2	13,0	11,0	10,4	10,0	10,0	8,4	9,4	9,5

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH
<http://www.insivumeh.gob.gt/>. Consulta. 25 de febrero de 2017.

Anexo 7. **Datos de temperatura del año 2015 de Purulhá**

2015					
D I A	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	21,50	24,50	22,00	24,00	17,50
2	22,50	23,00	22,50	23,50	17,00
3	22,00	20,50	23,00	24,50	18,50
4	20,50	21,50	23,00	25,00	19,50
5	19,50	22,00	21,50	24,00	20,50
6	19,00	22,50	19,50	21,50	20,00
7	18,50	24,00	18,00	20,50	19,00
8	20,00	22,50	21,00	22,00	19,50
9	19,50	21,50	22,50	21,50	19,00
10	20,00	21,50	21,50	21,00	18,00
11	19,50	21,50	20,00	21,50	18,50
12	21,50	23,00	18,50	22,50	19,00
13	20,50	24,00	19,00	21,50	19,00
14	21,50	24,00	19,50	19,50	20,00
15	22,50	23,00	20,00	19,50	18,50
16	21,50	21,50	20,50	21,00	18,50
17	24,00	21,00	18,00	21,50	20,50
18	23,50	20,50	21,00	23,00	21,00
19	22,50	21,50	21,00	23,00	19,00
20	21,50	21,00	22,50	21,50	19,00
21	22,50	21,00	22,50	19,50	19,00
22	24,00	21,50	21,50	18,00	19,50
23	21,50	21,00	20,50	18,50	19,00
24	19,50	20,50	22,00	19,50	17,00
25	20,00	21,00	22,50	17,50	19,00
26	21,00	21,50	22,50	16,50	21,00
27	19,50	21,00	24,00	17,00	21,00
28	19,00	21,00	24,50	17,50	21,50
29	20,50	23,50	25,50	17,50	17,50
30	21,00	24,50	26,00	17,00	17,00
31	21,50		25,00		19,00

Fuente: Departamento de Programación y Control de Producción, Sección de Hidrología del Instituto Nacional de Electrificación, INDE. <http://www.guatecompras.gt/concursos/files/224/1117955@EGEE%20C06%202010%201001%20Un%20correntometro.pdf>. Consulta:

25 de febrero de 2017.

Anexo 8. **Datos de temperatura del año 2016 Purulhá**

2016						
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
19,50	20,50	20,50	26,00	24,50	25,00	22,00
20,00	18,50	17,00	25,50	25,00	25,50	21,50
20,00	17,50	10,00	22,50	22,00	24,50	18,50
19,50	18,50	16,50	20,50	20,50	24,50	20,50
18,50	18,50	18,50	21,00	21,50	23,50	21,50
19,00	17,50	18,00	21,00	21,50	21,00	20,00
17,50	15,00	18,00	22,50	21,50	20,50	20,50
17,00	14,00	20,50	23,00	22,00	20,50	21,00
18,50	14,00	23,50	23,50	22,00	22,50	22,00
17,00	13,00	23,00	22,50	19,50	23,50	21,50
17,00	12,00	21,50	22,00	22,00	22,50	21,00
17,50	12,00	21,00	25,50	23,00	20,50	22,50
18,50	12,50	24,00	25,50	22,00	22,00	22,50
20,00	16,00	26,50	25,00	22,00	23,50	22,50
21,50	19,50	25,00	25,50	20,00	23,00	24,50
20,00	21,50	25,00	24,50	20,00	23,50	25,00
17,00	19,50	24,00	22,50	21,50	25,00	23,00
16,00	17,00	21,50	21,50	21,50	25,50	21,00
17,00	16,00	21,50	21,00	22,00	24,50	21,00
17,50	15,50	21,00	19,00	23,00	22,00	21,00
18,00	16,00	18,50	20,50	22,50	21,50	20,00
17,00	16,00	17,50	23,00	21,50	23,00	23,00
14,00	17,50	21,00	24,00	20,50	24,00	24,50
14,50	17,00	25,50	23,50	21,00	23,50	21,50
17,00	17,00	28,00	21,50	22,00	22,50	20,50
19,50	15,00	27,00	21,00	22,50	21,50	23,00
18,50	14,50	23,00	20,50	24,50	21,50	22,50
16,50	15,00	20,50	21,00	25,50	21,00	19,50
17,50	18,50	22,00	22,50	25,50	21,00	19,50
18,50		25,00	23,50	26,00	21,50	21,00
19,50		25,00		25,00		21,80

Fuente: Departamento de Programación y Control de Producción, Sección de Hidrología del Instituto Nacional de Electrificación, INDE. <http://www.guatecompras.gt/concursos/files/224/1117955@EGEE%20C06%202010%201001%20Un%20correntometro.pdf>. Consulta:

25 de febrero de 2017.