

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL**



---

EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE FLUJO MÁSIICO CON  
FINES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA QUE SE PRODUCE  
A PARTIR DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE NIEBLA EN LA  
ZONA DE SAN PEDRO DE CARPISH – CHINCHAO – HUÁNUCO.

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

TESISTA: Alfredo Enrique, Mory Loarte

Asesor: Ing. Paucar Y Montenegro, Clifton

HUÁNUCO – PERÚ

2018

## **DEDICATORIA**

A Dios

por darme la vida y tener una maravillosa familia

llenarme de aprendizaje y deseos de superación,

a mis padres, hermana y sobrina

por ser mi motivación y por el

apoyo incondicional que siempre me dan,

a mí enamorada, una persona muy especial

que ha estado a mi lado apoyándome

para que se pueda realizar la presente tesis

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Hermilio Valdizán por brindarme los conocimientos necesarios para que me forme y desarrolle como ingeniero.

Al Ing. Paucar Y Montenegro, Clifton por el apoyo, orientación y asesoramiento en el desarrollo de la tesis permitiéndome aprender mucho más y ser mejor profesional.

A mis padres, a mi primo y MSc. Ing. Mitchel Jimmy Jara García que me ayudaron en la construcción y montaje del atrapanieblas en San Pedro de Carpish.

Al SENAMHI, por brindar la información meteorológica necesaria para la evaluación de variables climatológicas de San Pedro de Carpish.

A MSc. Ing. Mitchel Jimmy Jara García, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo, amistad y darme ánimos para crecer profesionalmente.

A la familia de Carpish que permitió que construya el atrapanieblas en su terreno y también por el cuidado del sistema experimental atrapanieblas.

A Diego y Silvio por apoyarme en la obtención y construcción del sistema arduino y sensor ultrasonido para las mediciones y registros de datos.

---

## RESUMEN

San Pedro de Carpish ubicado en el distrito de Chinchao en la provincia de Huánuco cuenta con un recurso hídrico no convencional que es el sistema de recolección de agua de niebla que se complementa con los recursos hídricos existentes. La tesis tiene un enfoque hidrológico, cambio climático y preservación de recurso hídrico.

La fórmula de flujo másico es una ecuación que permite determinar el potencial de producción de agua líquida a partir de la niebla. Esta tesis sirve para identificar el potencial hídrico que se puede captar de la niebla en la zona de estudio.

En el primer capítulo se describe el planteamiento del problema, se formula y se establecen el objetivo general y objetivos específicos que se pretende lograr con la investigación.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico del trabajo de investigación, se describe los antecedentes, se formula la hipótesis, población y muestra, así como también se describen términos frecuentemente empleados en la investigación.

En el tercer capítulo se describe la parte metodológica del trabajo de investigación, se describe de manera detallada los pasos y metodologías empleadas en la investigación para el logro de objetivos y resolver la hipótesis.

En el cuarto capítulo se describe la discusión de resultados, se emplea los procedimientos indicados en el tercer capítulo y se resuelven los objetivos y la hipótesis.

En el quinto capítulo se concluye y resuelve el objetivo general y objetivos específicos de la investigación y en el sexto capítulo se describe las recomendaciones y líneas de investigación.

Palabras claves: Atrapanieblas, flujo másico, agua de niebla, calidad de agua.

## SUMARRY

San Pedro de Carpish located in the district of Chinchao in the province of Huánuco has an unconventional water resource that is the fog water collection system that is complemented by the existing water resources. The thesis has a hydrological focus, climate change and preservation of water resources.

The mass flow formula is an equation that allows to determine the production potential of liquid water from fog. This thesis serves to identify the water potential that can be captured from the fog in the study area.

In the first chapter, the problem statement is described, formulated and the general objective and specific objectives to be achieved with the research are established.

The second chapter describes the theoretical framework of the research work, describes the background, formulates the hypothesis, population and sample, as well as describes terms frequently used in the research.

In the third chapter we describe the methodological part of the research work, describing in detail the steps and methodologies used in research to achieve objectives and solve the hypothesis.

In the fourth chapter the discussion of results is described, the procedures indicated in the third chapter are used and the objectives and the hypothesis are solved.

The fifth chapter concludes and resolves the general objective and specific objectives of the research and in the sixth chapter describes the recommendations and lines of research.

Keywords: Fog trapping, mass flow, fog water, water quality.

---

## Índice

	Pág.
RESUMEN .....	III
SUMARRY.....	IV
CAPITULO I .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. Planteamiento y fundamentación del problema .....	1
1.2. Formulación del problema .....	4
1.2.1. Problema general .....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Objetivos: general y específicos .....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
CAPITULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.1.1. A nivel internacional.....	6
2.1.2. A nivel nacional .....	6
2.2. Justificación e importancia .....	8
2.3. Limitaciones y alcances .....	13
2.3.1. Limitaciones de la investigación.....	13
2.3.2. Alcances de la investigación.....	13
2.4. Hipótesis, variables, indicadores y definiciones operacionales .....	14

---

2.4.1.	Hipótesis general.....	14
2.4.2.	Sistema de variables, dimensiones e indicadores .....	14
2.5.	Universo / población y muestra .....	16
2.5.1.	Determinación del universo/población .....	16
2.5.2.	Selección de muestra.....	16
2.6.	Conceptos fundamentales .....	16
2.6.1.	Captadores de niebla.....	16
2.6.2.	Precipitación oculta.....	17
2.6.3.	Vapor de Agua .....	17
2.6.4.	Humedad.....	18
2.6.5.	Tensión de vapor (e) .....	18
2.6.6.	Humedad relativa .....	19
2.6.7.	Punto de rocío .....	19
2.6.8.	Saturación .....	21
2.6.9.	Rocío.....	21
2.6.10.	Niebla.....	22
2.6.10.1.	Niebla de radiación .....	23
2.6.10.2.	Niebla de advección.....	24
2.6.10.3.	Nieblas de evaporación.....	25
2.6.10.4.	Nieblas frontales .....	26
2.6.11.	Neblina.....	27
2.6.12.	Condensación.....	27
2.6.13.	Eficiencia aerodinámica.....	27

---

2.6.14.	Eficiencia de colección .....	27
2.6.15.	Eficiencia de deposición .....	27
2.6.16.	Eficiencia de drenado.....	27
2.6.17.	Neblinómetro .....	27
2.6.18.	Número de Stokes .....	27
2.6.19.	Temperatura .....	28
2.6.20.	Estación meteorológica.....	28
2.6.21.	Velocidad y dirección del viento .....	28
CAPITULO III.....		29
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	29
3.1.	Nivel y tipo de investigación .....	29
3.1.1.	Tipo de investigación.....	29
3.1.2.	Nivel de investigación.....	29
3.2.	Marco situacional.....	30
3.3.	Diseño de la investigación .....	32
3.4.	Instrumentación de atrapanieblas.....	35
3.4.1.	Medición de parámetros asociados a la niebla.....	35
3.4.1.1.	Sensores de humedad y temperatura.....	35
3.4.1.2.	Sensor de velocidad .....	36
3.4.1.2.1.	Anemómetro y veleta.....	36
3.4.2.	Medición de parámetro de volumen de agua captada.....	37
3.4.2.1.	Arduino .....	37
3.4.2.2.	Sensor de distancia de ultrasonido HC-SR04.....	38



---

3.4.2.3. Programación de Arduino .....	40
3.5. Construcción y operación de atrapanieblas.....	45
3.5.1. Materiales.....	45
3.5.2. Construcción .....	46
3.6. Estimación de agua líquida a partir de la niebla .....	46
3.7. Parámetros que intervienen en la formación de la niebla .....	55
3.8. Contenido de agua líquida (LWC).....	59
3.9. Tipo de nube en San Pedro de Carpish .....	61
3.10. La densidad del aire en función de la temperatura y la altitud .....	65
3.11. La viscosidad del viento en función de la temperatura.....	66
3.12. Ángulo de inclinación de lluvia .....	68
CAPITULO IV.....	72
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
4.1. Análisis e interpretación de datos mensuales del SENAMHI .....	72
4.2. Análisis e interpretación de datos mensuales.....	73
4.3. Determinación de moda de velocidad de viento .....	75
4.4. Prospección cualitativa/cuantitativa parcial de condiciones ecológicas .....	76
4.5. Recolección de datos del SEA-01 y la estación meteorológica de Carpish en el periodo de evaluación .....	77
4.6. Análisis e interpretación de datos en el periodo de evaluación .....	80
4.6.1. El método de Kolmogorov - Smirnov.....	81
4.6.2. Correlación.....	83
4.6.3. Correlación Bivariada .....	83

---

4.6.4.	Cuantificación de la Correlación .....	83
4.6.5.	Análisis de Regresión .....	86
4.6.6.	Tipos de análisis de regresión .....	87
4.6.7.	Regresión lineal múltiple .....	87
4.6.8.	Estimación del modelo de regresión .....	88
4.6.9.	Ecuación de regresión .....	88
4.6.10.	Coefficiente de regresión estandarizada (beta) .....	90
4.6.11.	Bondad de ajuste .....	91
4.6.12.	Evaluación del modelo de regresión .....	92
4.6.13.	Prueba de hipótesis global de los coeficientes de regresión .....	92
4.7.	Proyección de cantidad de agua de la niebla .....	94
4.7.1.	Análisis de consistencia de datos .....	94
4.7.2.	Compleción y extensión de datos .....	95
4.7.3.	Validación de datos obtenidos del HEC 4 y datos de los meses del 2018 del SENAMHI .....	97
4.7.4.	Proyección mensual de agua de niebla .....	97
4.7.5.	Proyección anual de agua de niebla .....	99
4.8.	Diseño de la eficiencia de colección del sistema experimental atrapanieblas N°01 (SEA-01) .....	104
4.9.	Cálculo teórico de la cantidad de agua que se puede captar de la niebla.....	106
4.10.	Evaluación de la calidad de agua obtenida a partir del sistema de captación de agua de la niebla .....	107
4.11.	Comparación del volumen de agua diario teórico con lo obtenido en campo .....	107

---

CAPITULO V.....	109
5. CONCLUSIONES .....	109
CAPITULO VI.....	110
6. RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFÍA .....	111
ANEXOS .....	116
Anexo 1: cuadros de datos meteorológicos del SENAMHI, sistema Arduino y registros .....	116
Anexo 2: Tratamiento estadístico de datos .....	125
Modelo de regresión lineal múltiple .....	125
A2.1. Coeficientes de regresión muestral .....	126
A2.2. Coeficientes beta .....	128
A2.3. Coeficiente de determinación múltiple .....	128
A2.4. Coeficiente de determinación múltiple ajustado .....	129
A2.5. El error estándar de estimación múltiple.....	129
Anexo 3: Prueba de calidad de agua .....	130
Anexo 4: Plano de construcción del atrapanieblas .....	132
Anexo 5: Panel fotográfico .....	134

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. 1 Cuadro de % de incidencia del déficit de agua y saneamiento en de las zonas próximas a la zona de San Pedro de Carpish .....	2
Tabla 2. 1 Matriz de consistencia .....	15
Tabla 3. 1 CD para placas rectangulares y pantallas en forma de C.....	51
Tabla 3. 2 Factor de corrección para ReD menor a 400 .....	53
Tabla 3. 3 Grado de correlación de variables en la formación de la niebla y la cantidad de agua captada del atrapanieblas .....	57
Tabla 3. 4 LWC en varios tipos de nubes .....	60
Tabla 3. 5 Viscosidad del viento en función de la temperatura .....	67
Tabla 3. 6 Estimación del ángulo de inclinación de lluvia .....	69
Tabla 4. 1 Resumen de datos anuales del SENAMHI .....	72
Tabla 4. 2 Prueba de Kolmogorov – Smirnov .....	74
Tabla 4. 3 Moda de dirección del viento en Carpish .....	75
Tabla 4. 4 Variables ecológicas de cuando se levantó información la ONERN y cuando se realizó el trabajo de investigación .....	76
Tabla 4. 5 Resumen de datos .....	78
Tabla 4. 6 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.....	83
Tabla 4. 7 Grado de correlación entre las variables.....	86
Tabla 4. 8 Coeficientes de la ecuación de regresión.....	89
Tabla 4. 9 Resumen del modelo.....	91
Tabla 4. 10 ANOVA.....	93
Tabla 4. 11 Compleción y extensión de datos con HEC - 4 .....	96

---

Tabla 4. 12 Comparación de datos de extensión del programa HEC 4 y datos del SENAMHI del 2018.....	97
Tabla 4. 13 Resumen da datos de agua de niebla mensuales del año 2017 .....	98
Tabla 4. 14 Valores de la temperatura mínima para distintos periodos de retorno .....	102
Tabla 4. 15 Proyección anual de agua de niebla.....	103
Tabla 4. 16 Variables propiedades de la malla .....	104
Tabla 4. 17 Tabla de variables para el cálculo de densidad del aire en función de altitud y temperatura .....	104
Tabla 4. 18 Tabla de variables climáticas en Carpish.....	105
Tabla 4. 19 Resultados del cálculo de eficiencia de colección del atrapanieblas .....	105
Tabla 4. 20 Flujo másico.....	106
Tabla 4. 21 Cantidad de agua obtenido en campo de noviembre de 2017 a enero de 2018 .....	106
Tabla 4. 22 Valores de variables de calidad de agua .....	107
Tabla 4. 23 Comparación de lo obtenido en campo y el teórico.....	108
Tabla A1. 1 Parámetro humedad relativa (%) – periodo 2003-2017 .....	116
Tabla A1. 2 Parámetro temperatura máxima (°C) - periodo 2003-2017 .....	116
Tabla A1. 3 Parámetro: temperatura mínima (°C) - periodo 2003-2017 .....	117
Tabla A1. 4 Parámetro: velocidad del viento a las 7:00 horas (m/s), periodo 2003-2017.....	117
Tabla A1. 5 Parámetro: velocidad del viento a las 13:00 Horas (m/s), periodo 2003-2017.....	118
Tabla A1. 6 Parámetro: velocidad del viento a las 19:00 horas (m/s), periodo 2003-2017.....	118
Tabla A1. 7 Parámetro: dirección del viento a las 7:00, periodo 2003-2017 .....	119
Tabla A1. 8 Parámetro: dirección del viento a las 13:00 Horas, periodo 2003-2017.....	119
Tabla A1. 9 Parámetro: dirección de viento a las 19:00 horas, periodo 2003-2017.....	120

---

Tabla A1. 10 Medida en mm del pluviómetro del 05- nov -17 al 11- ene- 18 .....	120
Tabla A1. 11 Mediciones diarias de agua captada en la niebla, agua de lluvia calculada y duración del evento climatológico .....	122

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Mapa de ubicación del distrito de Chinchao y la estación meteorológico de Carpish..	
.....	1
Figura 1. 2. Vista de las poblaciones cercanas a San Pedro de Carpish y las zonas de intervención.....	3
Figura 1. 3. Croquis perfeccionado de la posible instalación para conducir agua de la niebla a la caleta de Chungungo, hecho en base al antiguo croquis de 1982 (H. Larrain, 2013).....	4
Figura 2. 1. San Pedro de Carpish ubicado en el mapa ecológico del Perú de la ONERN.....	9
Figura 2. 2. Diagrama de Holdridge .....	11
Figura 2. 3. Temperatura vs tensión de vapor de saturación .....	19
Figura 2. 4. Tamaño de gotas de lluvia típica y nube .....	20
Figura 2. 5. Niebla de radiación.....	24
Figura 2. 6. Niebla de advección .....	25
Figura 2. 7. Niebla de evaporación .....	26
Figura 2. 8. Niebla frontal.....	26
Figura 3. 1. Nivel de investigación .....	29
Figura 3. 2. Sub cuencas de las localidades mencionada en la tabla 1.1 .....	30
Figura 3. 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas alrededor de Carpish .....	31
Figura 3. 4. Determinación de caudal en base a precipitación máxima de 24 horas del año 2017	
.....	32
Figura 3. 5. Anemómetro tipo wild.....	37
Figura 3. 6. Sistema Arduino .....	38
Figura 3. 7. Sensor de distancia ultrasonido HC-SR04 .....	39

---

Figura 3. 8. Sistema experimental de atrapanieblas SEA-01 en Carpish - Chinchao - Huánuco .	46
Figura 3. 9. Flujo de atrapanieblas.....	48
Figura 3. 10. Eficiencia de colección vs coeficiente de sombra .....	50
Figura 3. 11. Deposición de gotas (a) por intercepción y (b) por inercia .....	53
Figura 3. 12. Mallas de acero inoxidable y raschel con gotas que cubren parcialmente las aberturas.....	54
Figura 3. 13. Ajuste empírico de la densidad de vapor saturado en comparación con la temperatura Celsio .....	56
Figura 3. 14. Porcentajes de incidencia de variables en la cantidad de agua de atrapanieblas. ....	58
Figura 3. 15. Ensayo teórico superficial de incidencia porcentual de las variables que influyen en la cantidad de agua captada de la niebla .....	59
Figura 3. 16. Ascenso orográfico de una masa de aire sobre una montaña .....	61
Figura 3. 17. Proceso de expansión adiabática .....	62
Figura 3. 18. Tipos de nubes según altitud .....	63
Figura 3. 19. Niebla en Carpish - tipo de nube de cúmulus.....	64
Figura 3. 20. Formación de la niebla del SEA-01.....	64
Figura 3. 21. Esquema de ángulo de inclinación de lluvia en San Pedro de Carpish.....	71
Figura 4. 1. Gráfico de la moda de la dirección del viento en los tres horarios 7:00,13:00 y 19:00 .....	75
Figura 4. 2. Estación meteorológica de Carpish .....	77
Figura 4. 3. Sistema experimental de atrapanieblas (SEA-01) .....	78
Figura 4. 4. Gráfico histórico mensual de la temperatura mínima del año 2003 al 2017 .....	95
Figura 4. 5. Compleción y extensión de datos de temperatura mínima con HEC - 4.....	96



---

Figura 4. 6. Método de mínimos cuadrados para completar datos mensuales.....	98
Figura 4. 7. Ajuste de una serie de datos a la distribución normal y log-normal de 2 parámetros .....	100
Figura 4. 8. Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Pearson tipo III y Gumbel .....	100
Figura 4. 9. Temperatura mínima de la estación meteorológica de Carpish.....	101
Figura 4. 10. Temperatura mínima para distintos periodos de diseño .....	101
Figura A5. 1. Inspección de campo y ubicación de la estación meteorológica de Carpish .....	134
Figura A5. 2. Construcción del atrapanieblas y su respectivo cerco .....	134
Figura A5. 3. Control de calidad en mediciones de la cantidad de agua .....	135
Figura A5. 4. Agua captada de la niebla.....	135

---

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación (1) Flujo másico .....	47
Ecuación (2) Flujo másico recolectado.....	48
Ecuación (3) Eficiencia de colección.....	48
Ecuación (4) Relación de área de flujo libre.....	49
Ecuación (5) Coeficiente de sombra.....	49
Ecuación (6) Eficiencia aerodinámica .....	50
Ecuación (7) Coeficiente de caída de presión por malla de alambre.....	52
Ecuación (8) Coeficiente de caída de presión por malla de seda.....	52
Ecuación (9) Reynolds basado en el diámetro de la fibra de la malla .....	52
Ecuación (10) Eficiencia de deposición.....	54
Ecuación (11) Eficiencia de deposición.....	55
Ecuación (12) Número de Stokes .....	55
Ecuación (13) Ecuación fundamental de la estática de los fluidos.....	65
Ecuación (14) Ley de los gases ideales.....	65
Ecuación (15) Presión del aire en función de la altura y temperatura .....	66
Ecuación (16) Densidad del aire en función de la altura y temperatura .....	66
Ecuación (17) Factor de corrección de intensidad de lluvia.....	68
Ecuación (18) Diámetro medio de la gota de lluvia .....	68
Ecuación (19) Velocidad de caída terminal de las gotas de lluvia .....	68
Ecuación (20) Ángulo de inclinación media de lluvia.....	68

## CAPITULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento y fundamentación del problema

San Pedro de Carpish ubicado en el distrito de Chinchao provincia de Huánuco (figura 1.1), presenta niebla constante a lo largo de todo el año.

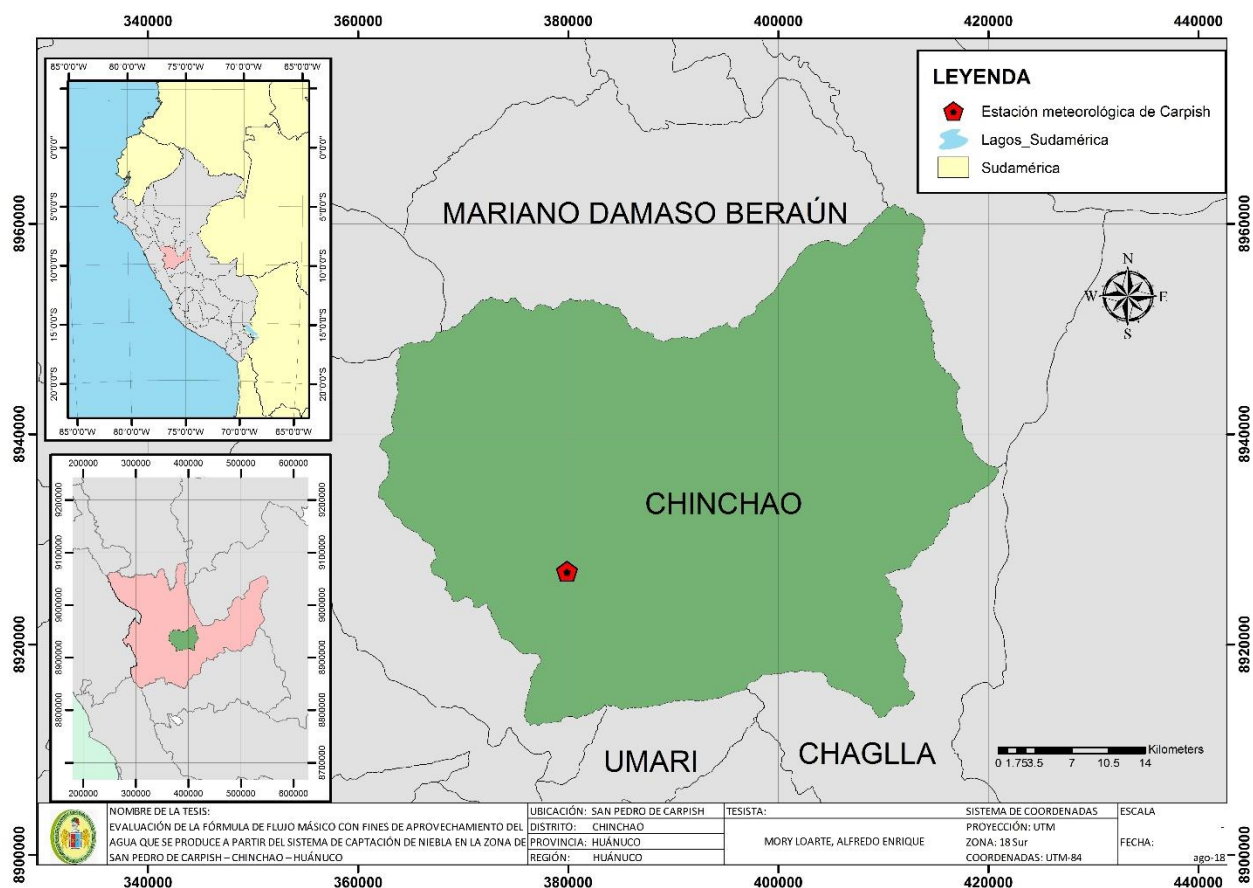


Figura 1. 1. Mapa de ubicación del distrito de Chinchao y la estación meteorológico de Carpish  
Elaboración propia

Las localidades próximas a la zona de San Pedro de Carpish, cuenta con sistema de abastecimiento de agua pero no abastecen en su totalidad a la población como se puede observar en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1

*Cuadro de % de incidencia del déficit de agua y saneamiento en de las zonas próximas a la zona de San Pedro de Carpish*

Localidad	Población total	Población atendida	Déficit (%)
Mayobamba Alta	320	180	43.75%
Cancejos	185	180	2.70%
Bandera Blanca	150	150	0.00%
Mayobamba Baja y Dos Aguas	1000	1000	0.00%
Mirador	323	210	34.98%
Nueva Libertad de Sogobamba	1040	120	88.46%
Nuevo Progreso de Huaguin	460	252	45.22%
San Pedro de Carpish	200	68	66.00%

Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MINVIV) mediante el área técnica, Municipalidad Distrital de Chinchao - diagnóstico de sistemas de agua y saneamiento en el ámbito rural (2017)  
Elaboración Propia

Se observa la necesidad de proyectos de saneamiento para la población y usar nuevas alternativas de fuente de agua como la niebla, dado que es un recurso hídrico permanente en la zona de San Pedro de Carpish. En Huánuco no se han realizado estudios de la captación de niebla como alternativa de abastecimiento de agua, siendo necesario aprovechar al máximo los recursos hídricos. Carpish se encuentra en la parte alta de las poblaciones, en donde el sistema de atrapanieblas funciona perfectamente, ya que el agua atrapada se trasladaría por gravedad.

La niebla se presenta con mayor frecuencia en San Pedro de Carpish, siendo esta la zona de intervención para realizar la construcción de atrapanieblas, y luego llevar el agua por conducción a las poblaciones que están en la parte baja del bosque de Carpish como se puede visualizar en la figura 1.2 (ubicación de las localidades de la tabla 1.1 y la estación meteorológica de Carpish); para las poblaciones de San Pedro de Carpish y Mirador se plantearía la construcción de los atrapanieblas cerca a las viviendas, dado que éstas se encuentran muy distantes entre si, la construcción individual para cada una de ellas es factible.



Figura 1. 2. Vista de las poblaciones cercanas a San Pedro de Carpish y las zonas de intervención.  
Fuente: Google Earth.  
Elaboración propia.

Se muestra a continuación un gráfico esquemático de la conducción del agua de niebla, un croquis realizado por Larrain en el 2013 (figura 1.3).

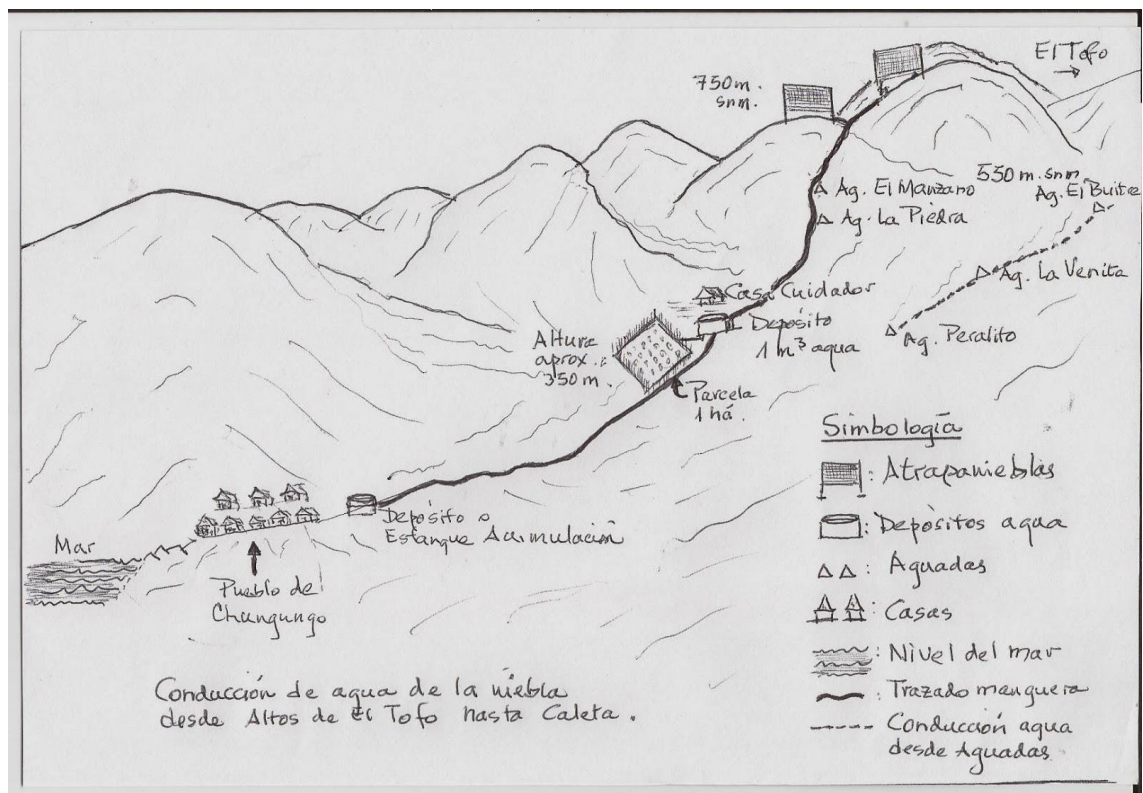


Figura 1. 3. Croquis perfeccionado de la posible instalación para conducir agua de la niebla a la caleta de Chungungo, hecho en base al antiguo croquis de 1982 (H. Larrain, 2013).  
Fuente: Larrain (2013)

De igual manera que el esquema presentado se realizaría para las poblaciones que se encuentran por debajo de San Pedro de Carpish, este proyecto coadyuvará al suministro de agua en la zona. Teniéndose en cuenta también que se puede tener pérdidas típicas por factores climáticos, operación y mantenimiento del sistema.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general

- ¿Es posible evaluar la fórmula de flujo másico con fines de aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Serán las condiciones climatológicas en San Pedro de Carpish - Chinchao – Huánuco adecuadas para plantear el sistema de captación de niebla?
- ¿Cuál será la eficiencia en la colección de agua del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish – Chinchao - Huánuco?
- ¿Cuál será la calidad del agua que se obtendrá del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao – Huánuco?

### **1.3. Objetivos: general y específicos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Evaluar la fórmula de flujo másico con fines de aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Conocer las condiciones climatológicas en San Pedro de Carpish - Chinchao – Huánuco.
- Determinar la eficiencia en la colección de agua del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish – Chinchao - Huánuco.
- Determinar la calidad del agua que se obtiene del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao – Huánuco.

---

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. A nivel internacional

Soto (2000) en su investigación captación de agua de las nieblas costeras (Camanchaca), Chile indica que:

El proyecto más exitoso realizado hasta ahora es de abastecimiento de agua potable al pueblo de pescadores de Chungungo, ubicado a 80 km al norte de La Serena en Chile. En este proyecto se desarrolló un prototipo de sistema que, en términos breves, consiste en un set interconectado de paneles atrapanieblas que dispuesto convenientemente, localizados a unos 900 msnm, interceptan las neblinas que trasladan los vientos marinos hacia el continente. Estos captadores de niebla se alzan sobre postes ubicados a dos metros sobre la superficie del suelo, soportando una doble estructura rectangular de malla de polipropileno (que se obtiene en el comercio como malla de sombra cortaviento “Raschel” de 35% de sombra), que intercepta la gota de la neblina arrastrada por el viento. El agua así captada es trasladada gravitacionalmente a través de un sistema de tuberías hacia un estanque de acumulación y a la red de agua para la población. (p.133)

##### 2.1.2. A nivel nacional

Asociación Zabalketa (2014) en su investigación experiencias de captación de agua de niebla para reforestación, investigación de campo en territorios con escasez pluvial de Bolivia y Perú concluyen que:

La captación de agua de niebla es una técnica que funciona: permite alcanzar resultados muy elevados de captación de agua, ya sea en escenarios costeros, como es el caso de Chinchu, o



---

en escenarios de interior, como son los casos de Chanchamayo, Alto Veladero y Cruce de Pucará en Bolivia. En el primero, entre mayo y diciembre (ocho meses) la captación promedio mensual se situó en 45 litros/m<sup>2</sup>·mes, que con el sistema provisto de una buena capacidad de almacenamiento podría asegurar la disponibilidad de agua durante los meses de sequía. En Alto Veladero y Cruce de Pucará, como escenarios con mayor rendimiento de captación, por término medio se superaron los 250 litros/m<sup>2</sup>·mes en la época húmeda (meses de diciembre a mayo) y los 100 litros/m<sup>2</sup>·mes en la época seca (meses de junio a noviembre). Asimismo, los resultados confirmaron la importancia de contar con información completa sobre las condiciones meteorológicas para diseñar el sistema de captación adaptado a ellas y obtener así la máxima eficiencia en la captación de agua de las nieblas. (p.75)

Galarza, Kámiche, Diderot, Arias y Oviedo (2014) en la investigación Perú Evaluación de Necesidades Tecnológicas para el Cambio Climático Lima, refiere a los atrapanieblas como:

Una tecnología que no requiere de conocimientos técnicos especializados ni personal altamente calificado para su construcción. Además, existen varias opciones de materiales que flexibilizan su diseño y hacen que se adapte con mayor facilidad al presupuesto disponible (...)

La tecnología de atrapanieblas forma parte de un proceso más amplio que incluye estudios previos de evaluación de la niebla, construcción e instalación de atrapanieblas, construcción de sistemas de almacenamiento e instalación de sistemas de distribución. Es por ello que se requieren tecnologías complementarias y adicionales al atrapanieblas (como sistemas de tuberías, tanques de almacenamiento) que garanticen que el agua captada llegue a los usuarios y satisfaga sus necesidades específicas. (pp. 199 - 200)

## 2.2. Justificación e importancia

### Aspecto teórico

Rodríguez (2010) en su informe temático de: mesozonificación ecológica y económica para el desarrollo sostenible de la zona de selva del departamento de Huánuco, deja ver que:

La ruta de Tingo María al Puente Rancho (Cayumba) presenta pendiente ascendente donde la humedad y vegetación se va incrementando hasta llegar al túnel de Carpish, donde se observa la existencia de diversidad de orquídeas; también se observó nieblas, neblina, nubes bajas y la presencia de una estación meteorológica de categoría “CO” del SENAMHI a la altitud de 2 580 msnm. Pasando el túnel hasta el Rancho se inicia la bajada, donde se observa que a medida que se avanza, la vegetación tiene un cambio significativo ya que empieza a disminuir la cobertura vegetativa, hasta observar cerros sin vegetación, baja humedad y ambiente seco (esta característica es conocida en meteorología como Efecto Fohen). (p.12)

Según la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, 1976) la descripción ecológica de la zona de influencia del estudio de investigación es bosque muy húmedo - montano bajo tropical consignado con el código de identificación “bmh-MBT” como se muestra en la figura 2.1.

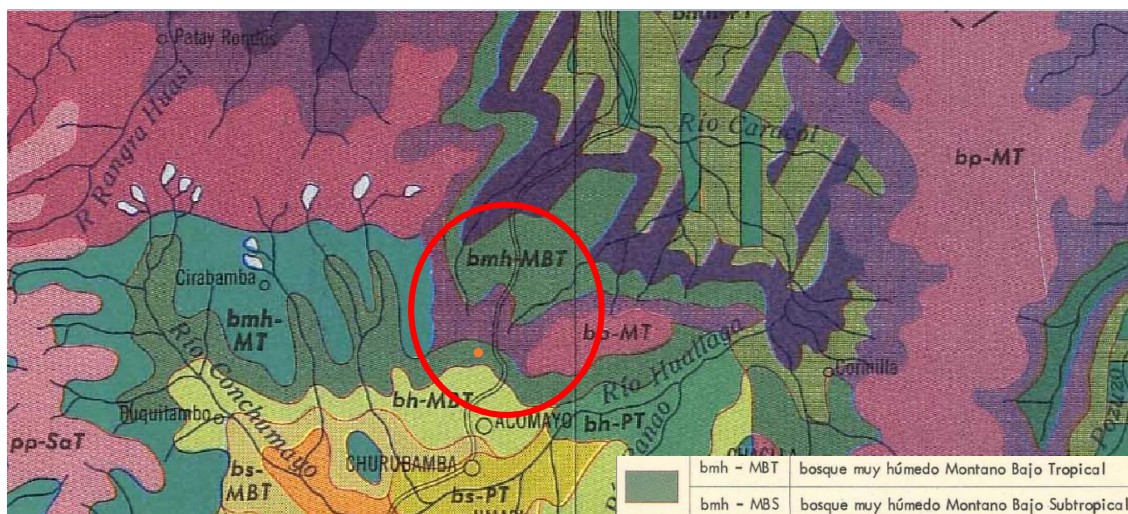


Figura 2. 1. San Pedro de Carpi ubicado en el mapa ecológico del Perú de la ONERN  
Fuente: Mapa ecológico del Perú, Oficina Nacional de Evaluación de Recurso Naturales (ONERN, 1976)

Según la clasificación anterior el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 1994, pp. 167-168) en su guía explicativa que contiene el diagrama de Holdridge (figura 2.2) y las siguientes características de la zona:

#### *Ubicación y Extensión:*

La zona de vida bosque muy húmedo - montano bajo tropical se distribuye en la región latitudinal tropical con una superficie de 11,020 Km<sup>2</sup> y su equivalente, la zona de vida bosque muy húmedo - montano bajo subtropical, se distribuye en la región latitudinal subtropical con una superficie de 4, 275 km<sup>2</sup>. Ambas zonas de vida totalizan una extensión de 15,295 km<sup>2</sup>, es decir, el 1.19% de la superficie territorial del país.

Se distribuyen por lo general en el flanco oriental de los Andes, entre 1,900 y 3,000 msnm, llegando a veces hasta 3,200 metros de altitud.

#### *Relieve y Suelos*

El relieve topográfico es muy accidentado, con pendientes que sobrepasan 7 % y muchas áreas de fuerte disectamiento. Los suelos son poco profundos, es decir, superficiales, donde predominan los Litosoles ya sean éutricos o dístricos, según el predominio de materiales

calcáreos o no calcáreos, así como formas transicionales pertenecientes a los Cambisoles (éutricos o dístricos).

### *Vegetación*

La vegetación es densa, alta y siempre verde y distribuida es tres estratos. El estrato está constituido por árboles que alcanzan alturas sobre 25 m, seguido de árboles de 20 m. (segundo estrato) y de 15 m. (tercer estrato).

### *Clima*

En el bosque muy húmedo - montano bajo tropical (bmh-MBT), las características bioclimáticas han sido estimadas en base al diagrama de Holdridge: la biotemperatura media anual varía entre 12° C y 17° C y el promedio de precipitación total por año es variable entre 2,000 y 4,000 milímetros.

Según el diagrama bioclimático de Holdridge, se estima que ambas zonas de vida tienen un promedio de evapotranspiración potencial total por año variable entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.5) del promedio de precipitación total por año, lo que las ubica en la provincia de humedad: Perhumedo.

### *Uso actual y potencial de la tierra:*

Son zonas de vida muy escaso potencial o muy poco favorables para el desarrollo agrícola y pecuario, aún para la atracción de recurso forestal siempre que se realice de acuerdo a un cuidadoso plan de manejo. La mayor extensión de esta zona de vida tiene importancia como bosque de protección, dentro de una política de conservación integrada de los recursos naturales del país.

Por lo tanto se concluye que en San Pedro de Carpish la presencia de niebla es alta y se ve reflejada en la alta vegetación, además de que para el estudio del sistema de captación de niebla se tiene una estación meteorológica donde se obtendrán los datos climáticos necesarios.

Con la inspección de campo realizada en los meses de octubre de 2017 a enero de 2018 se pudo verificar que la variabilidad de condiciones fue poca en las localidades de San Pedro de Carpish y Mirador, en las otras localidades de la tabla 1.1 se pudo visualizar mayores cambios debido a que se realizaron plantaciones de agricultura, zonas parciales de deforestación, que han influenciado en la presencia y constancia de la niebla.

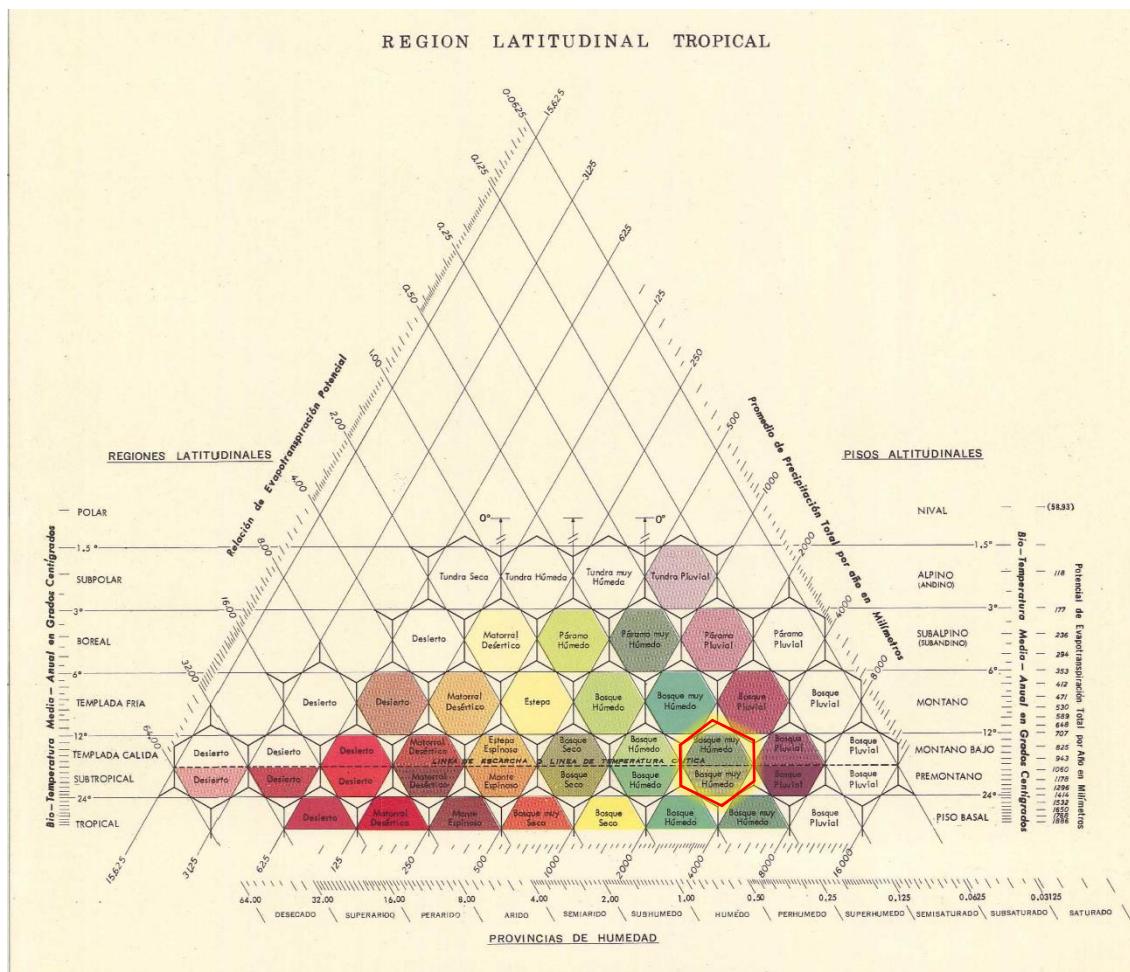


Figura 2. 2. Diagrama de Holdridge

Fuente: Mapa ecológico del Perú, Oficina Nacional de Evaluación de Recurso Naturales (ONERN, 1976)

**Aspecto práctico**

El presente trabajo de investigación pretende que se capte agua de la niebla, que se utilice para distintos tipos de proyectos como abastecer de agua a las poblaciones cercanas a la zona de San Pedro de Carpi, plantear sistemas de riego y proyectos de reforestación.

**Aspecto económico**

Clements, Hagggar, Quezada y Torres (2013) en su estudio de: Tecnologías de adaptación al cambio climático – sector agropecuario, indican que: “La niebla tiene el potencial de proporcionar una fuente alternativa de agua fresca en las regiones secas y puede cosecharse a través del uso de sistemas de recolección simples y económicos (UNEP, 1997)” (p.78), también indican que:

El agua atmosférica generalmente está limpia, no contiene microorganismos nocivos y es inmediatamente adecuada para el riego. En varios casos, se ha demostrado que el agua recolectada con tecnología de recolección de niebla cumple con las normas de la Organización Mundial de la Salud (UNISA, 2008, WaterAid). El impacto ambiental de instalar y mantener la tecnología es mínimo (WaterAid). Una vez aseguradas las partes componentes y la supervisión técnica, la construcción de la tecnología de recolección de niebla es relativamente sencilla y puede llevarse a cabo in situ. El proceso de construcción no requiere mucha mano de obra, solo se requieren destrezas básicas y, una vez instalado, el sistema no requiere energía para el funcionamiento. Dado que la cosecha de niebla es particularmente adecuada para las zonas montañosas donde las comunidades a menudo viven en condiciones remotas, la inversión de capital y otros costos generalmente son bajos comparados con las fuentes convencionales de suministro de agua (UNEP, 1997). (p. 81)

### **Aspecto ambiental**

Shael (2015) en su investigación de atrapanieblas dice que “el atrapanieblas es un sistema de gran efectividad que no da lugar a que exista contaminación por lo contrario es amigable con el medio ambiente y beneficia a personas de bajos recursos económicos que son dedicados a la agricultura”.

### **Relevancia académica**

Esta investigación sirve de base para el aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de la niebla de San Pedro de Carpish – Chinchao - Huánuco, así como evaluar su potencial hídrico.

También sirve de base para plantear nuevos sistemas de captación, así como profundizar conocimientos en el cálculo y estimación del agua que se puede obtener de la niebla.

## **2.3. Limitaciones y alcances**

### **2.3.1. Limitaciones de la investigación**

La investigación se limita a la zona cercana ubicada a la estación meteorológica debido a que se tienen datos climatológicos de esta.

Se trabaja con datos de humedad, velocidad y dirección del viento, temperatura máxima y mínima de la estación meteorológica de Carpish.

Aplicación de teoría y metodologías para el cálculo de variables.

### **2.3.2. Alcances de la investigación**

**Alcance geográfico:** zona ubicada cerca de la estación meteorológica de Carpish.

**Alcance temporal:** La recolección de datos se efectuó del 05 de noviembre de 2017 a 11 de enero de 2018.

## **2.4. Hipótesis, variables, indicadores y definiciones operacionales**

### **2.4.1. Hipótesis general**

*Hipótesis general (hipótesis estadísticas de correlación)*

Ho: La fórmula de flujo másico es adecuado para las condiciones climatológicas y el sistema de captación de niebla en Carpish – Chinchao – Huánuco.

H1: La fórmula de flujo másico no es adecuado para las condiciones climatológicas y el sistema de captación de niebla en Carpish – Chinchao – Huánuco.

### **2.4.2. Sistema de variables, dimensiones e indicadores**

*Variable dependiente*

Evaluación de la fórmula de flujo másico (fórmula de flujo másico).

*Variable independiente*

Aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla (condiciones climatológicas, eficiencia de colección de agua del atrapanieblas, sistema de captación de niebla y calidad de agua), y se muestra en la tabla 2.1.

Las dimensiones e indicadores se muestran en la matriz de consistencia en la tabla 2.1.



Tabla 2. 1  
Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	ESCALA	UNIDAD
¿Es posible evaluar la fórmula de flujo másico con fines de aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco?	Evaluar la fórmula de flujo másico con fines de aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco.		<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> Evaluación de la fórmula de flujo másico	Flujo másico de niebla	* Agua de Niebla	* Cálculo $\dot{m}=\rho vAE$	* Proporción o razón (valor)	* Kg/s
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	ESCALA	UNIDAD
¿Serán las condiciones climatológicas en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco adecuadas para plantear el sistema de captación de niebla?	Conocer las condiciones climatológicas en San Pedro Carpish - Chinchao - Huánuco.	La Fórmula de Flujo másico es adecuado para las condiciones climatológicas y el sistema de captación de niebla en San Pedro Carpish - Chinchao - Huánuco	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> : Aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla (condiciones climatológicas, sistema de captación de niebla, eficiencia de colección de agua del atrapanieblas y calidad del agua de la niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco)	Condiciones climatológicas	* Velocidad del viento * Dirección del viento * Humedad relativa * Temperatura máxima y mínima * Densidad de agua de la niebla (LWC) * Densidad y viscosidad del viento. * Duración de evento (niebla)	* Anemómetro tipo Wild * Veleta * Psicómetro * Termómetro * Tabla * Ley de los Gases Ideales y tabla. * Registro de observador	* Proporción o razón (valor) * Nominal (N/E/S/O) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor).	* % * N/E/S/O * % * °C * g/cm3 , mm * g/cm3 , Pa.s * hr.
¿Cuál será la eficiencia en la colección de agua del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco?	Determinar la eficiencia en la colección de agua del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco.			Sistema de captación de niebla	* Área de la malla * Coeficiente de sombra (S) * Coeficiente de arrastre (CD)	* Wincha * Cálculo $S=1-f$ $f= Aop/A$ * Tabla	* Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor)	* m2 * % * adm
¿Cuál será la calidad del agua que se obtiene del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco?	Determinar la calidad del agua que se obtiene del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco			Calidad de agua	* Eficiencia aerodinámica. * Eficiencia de deposición. * Eficiencia de drenado.	* Cálculo $\eta_{ac} = \frac{S}{1 + \sqrt{\frac{S}{C_D}}}$ * Cálculo $\eta_{dep} = \frac{stk^2}{(stk + 0.6)^2}$ * Cálculo	* Intervalo (0-100) * Intervalo (0-100) * Intervalo (0-100)	* % * % * %
					* Conductividad (25°C) * Sólidos totales disueltos * Turbidez * Color * Ph	* Ensayos análisis físicos químicos	* Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Intervalo ( 0 - 14)	* µmho/cm * mgL-1 * UNT * UCV escala Pt/Co * Valor de ph
			* Coliformes totales * Coliformes termotolerantes * Bacterias Heterotróficas	* Análisis bacteriológicos	* Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor) * Proporción o razón (valor)	* UFC/100 mL a 35°C * UFC/100 mL a 35°C * UFC/100 mL a 35°C		

UFC = Unidad formadora de colonias

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

UCV = Unidad de color verdadero

LWC = Densidad del agua e niebla / Contenido de agua líquida contenida en un m3 de niebla

Fuente: Elaboración Propia

## **2.5. Universo / población y muestra**

### **2.5.1. Determinación del universo/población**

Universo/población: niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao - Huánuco.

### **2.5.2. Selección de muestra**

En esta investigación se utilizará un muestreo no probabilístico opinático o intencional, ya que se seleccionará la niebla mediante un captador ubicado en un terreno cercano a la estación meteorológica.

### **Recolección de información**

Fuente primaria: datos de volumen de agua procesados de mediciones directas en campo y por el arduino y sensor ultrasonidos HC-SR04, y registro de duración de evento climatológico de la niebla.

Fuente secundaria: datos meteorológicos proporcionado por el SENAMHI, estudio de calidad de agua elaborado por la Dirección Regional de Salud Huánuco (DIRESA Huánuco) – Laboratorio referencial Huánuco – Laboratorio de microbiología de agua.

Los datos proporcionados por el SENAMHI son: humedad relativa (%), temperatura máxima y mínima (°C), velocidad del viento (m/s), dirección del viento y precipitación (mm).

Se realizó la toma de dos muestras de agua, una a la última semana de noviembre y la otra la segunda semana de diciembre para el control de calidad de agua.

## **2.6. Conceptos fundamentales**

### **2.6.1. Captadores de niebla**

Juliao, León y Polo (2016) indican que: “Los captadores de niebla o atrapanieblas, son estructuras que se instalan a determinadas alturas en zonas en donde se produce niebla, con el

objetivo de captar las partículas de agua que esta posee, y poder aprovechar este recurso hídrico” (p. 21).

### **2.6.2. Precipitación oculta**

Uclés (2014) en su tesis doctoral de la precipitación oculta y su papel en el balance hídrico de ecosistemas semiáridos señala que:

El aporte de agua por esta fuente puede ser de gran importancia en ecosistemas áridos y semiáridos y se la conoce como “precipitación oculta”. Esta puede proceder del rocío, la adsorción de vapor de agua y la niebla:

El rocío se forma cuando la temperatura de una superficie es menor o igual que la temperatura a la que el contenido de agua en el aire se vuelve saturante (punto de rocío) y por tanto el vapor de agua se condensa directamente sobre dicha superficie.

La adsorción de vapor de agua se produce cuando la temperatura superficial es mayor que el punto de rocío y la humedad relativa del aire es mayor que la de los poros del suelo. Se crea un gradiente de vapor de agua mediante el cual dicho vapor se transfiere de la atmósfera al suelo y las moléculas de agua quedan retenidas en éste por fuerzas de Van der Waals.

Finalmente, las nieblas consisten en un agregado visible de gotas de agua en suspensión en las proximidades de la superficie terrestre. Se produce por la condensación de pequeñas gotas en el aire cuando la concentración de vapor de agua de la atmósfera llega a saturación.

Cuando estas gotas de agua entran en contacto con una superficie, se depositan en ésta por intercepción. (p. 19)

### **2.6.3. Vapor de Agua**

La atmósfera terrestre contiene cantidades variables de agua en forma de vapor. La mayor parte se encuentra en los cinco primeros kilómetros del aire, dentro de la troposfera, y procede

de diversas fuentes terrestres gracias al fenómeno de la evaporación. El cual es ayudado por el calor solar y la temperatura propia de la Tierra. (Sarochar, 2016, p. 9)

#### **2.6.4. Humedad**

Las precipitaciones suelen acompañar al aire muy húmedo, mientras que el aire seco tiende a hacer que el agua terrestre se evapore, en vez de enviar más líquido sobre la Tierra. Interesa saber cuánto vapor de agua existe expresado como porcentaje de la cantidad máxima que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura. Este porcentaje es conocido como humedad relativa. El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. (Sarochar, 2016, p. 9)

#### **2.6.5. Tensión de vapor (e)**

La tensión de vapor se define como la presión que tendría el vapor de agua si ocupara el solo el volumen ocupado por el aire húmedo. La cantidad de vapor que el aire puede contener es limitada. Cuando se alcanza este límite, se dice que el aire está saturado. La presión de vapor así, es la tensión de vapor de saturación (es) y depende únicamente de la temperatura. (Sarochar, 2016, p. 9)

Se muestra en la figura 2.3 la tensión de vapor de saturación en función de la temperatura.

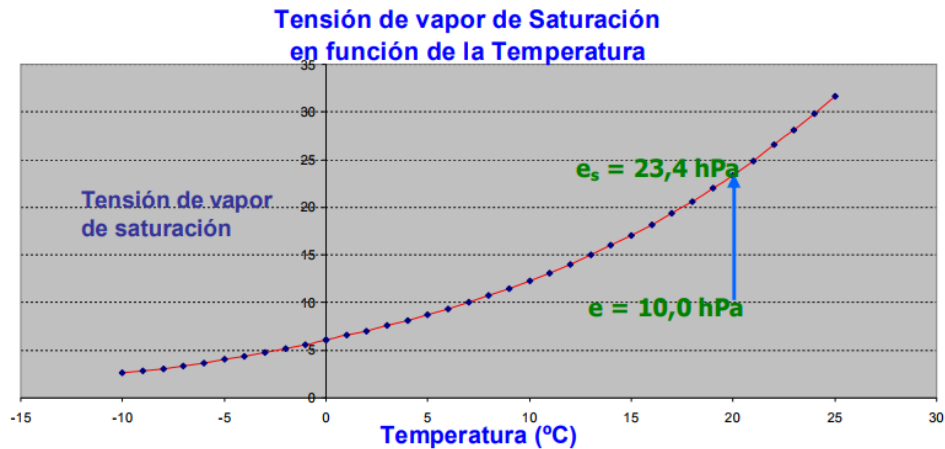


Figura 2. 3. Temperatura vs tensión de vapor de saturación  
Fuente: Sarochar (2006)

### 2.6.6. Humedad relativa

La humedad relativa es el cociente entre la tensión de vapor de una muestra de aire y la tensión de vapor de la misma muestra de aire saturado a la misma presión y a la misma temperatura, según la siguiente fórmula:

$$HR = e / e_s \times 100$$

Aplicando los datos de la figura 1.6 se tiene:

$$HR = 10 \text{ hPa} \times 100 / 23,4 \text{ hPa} = 43\%$$

Este parámetro es altamente dependiente de la temperatura. (Sarochar, 2016, p. 10)

### 2.6.7. Punto de rocío

Temperatura a la cual se condensa el vapor de agua que contiene una masa de aire.

Si una masa de aire se enfría lo suficiente, alcanza una temperatura llamada punto de rocío, por debajo de la cual no puede mantener toda su humedad en estado de vapor y éste se condensa, convirtiéndose en líquido, en forma de gotitas de agua. Si la temperatura es lo suficiente baja se originan cristales de hielo.

Casi siempre se necesita algo, sobre lo que el vapor pueda condensarse, superficies o cuerpos apropiados donde depositarse. Son impurezas procedentes de la Tierra. Se conocen como núcleos de condensación.

Los núcleos de condensación pueden ser partículas de polvo, sales marinas, humo, etc. En aire totalmente limpio teóricamente no podría ocurrir la condensación o sucedería a temperaturas tan extremas como  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La condensación del vapor de agua puede ocurrir por dos procesos distintos: por enfriamiento y por la adición de vapor. El más frecuente es el primero, puede ocurrir de diferentes modos:

Mediante un ascenso: el aire, al ascender, penetra en capas de presiones menores y se expande, lo que le produce un enfriamiento.

Por desplazamiento horizontal sobre una superficie más fría, entrega calor al suelo.

(Sarochar, 2016, pp. 10-11)

Se muestra en la figura 2.4 el tamaño de gotas de lluvia típica y de nubes.



Figura 2. 4. Tamaño de gotas de lluvia típica y nube  
Fuente: Sarochar (2016)

### **2.6.8. Saturación**

Cuando una masa de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua admisible a una determinada temperatura, es decir, que la humedad relativa llega al cien por ciento, el aire está saturado.

Si estando la atmósfera saturada se le añade más vapor de agua, o se disminuye su temperatura, el sobrante se condensa. Cuando el aire contiene más vapor de agua que la cantidad que tendría en estado de saturación, se dice que está sobresaturado. (Sarochar, 2016, p. 9)

### **2.6.9. Rocío**

Colaboradores de Wikipedia (2018) indican que:

El rocío es un fenómeno físico-meteorológico en el que la humedad del aire se condensa en forma de gotas por la disminución brusca de la temperatura, o el contacto con superficies frías. Se habla de rocío en general cuando se trata de condensación sobre una superficie, usualmente sobre la cubierta vegetal del suelo.

Dado un sistema a una determinada temperatura, existe una única presión de vapor tal que las fases líquida y gaseosa del agua se encuentran en equilibrio (o coexisten) y se denomina presión de vapor de saturación. La presión de vapor de saturación aumenta a medida que aumenta la temperatura a la cual se encuentra el sistema, siguiendo la relación de Clausius-Clapeyron. La saturación no es una propiedad del aire caliente. En la atmósfera, el sistema está conformado por aire seco más vapor de agua (que conforma lo que llamamos aire). Puesto que el aire se encuentra en equilibrio térmico, la temperatura del aire es también la temperatura del vapor y del agua líquida que este contenga. La temperatura a la que el sistema se encuentra saturado se denomina temperatura de rocío. Si el sistema alcanza dicha

temperatura, y la misma se encuentra por encima de los 0 °C, entonces se observará la formación del rocío en distintas superficies y, si se dieran las condiciones atmosféricas, podrían también observarse nieblas o neblinas. (párr. 1-3)

#### **2.6.10. Niebla**

Juliao et al. (2016) afirma que “la nube que se desplaza cercana al suelo conformado por gotas de agua de pequeño diámetro, las cuales pueden ser captadas y utilizadas para consumo humano o actividades de producción” (p. 46).

Marciel (2015) indica sobre la formación de la niebla que:

Lo primero que se ha de saber de la niebla es que es un fenómeno atmosférico formado por nubes que están muy bajas, prácticamente a ras del suelo. Se tiene que recordar que la formación de las nubes proviene de las partículas gaseosas del mar, y que después regresan a la tierra en forma de precipitación, es decir, de lluvia.

Para entender la niebla, se ha de saber por tanto que son esas nubes de las que cae la lluvia en los días de precipitaciones, pero que están tan bajas que consiguen crear esa atmósfera opaca que está condensada con pequeñas partículas sólidas. El conjunto de gotitas de agua que hay en la atmósfera hacen que se formen, y cuando bajan dan lugar a lo que se conoce como niebla.

Dependiendo de la zona de un país concreto, la niebla suele sucederse en los meses que competen al invierno. Si el suelo sufre un enfriamiento muy alto durante las horas de la noche, es bastante probable que la capa de aire frío que hay en el ambiente acabe condensada y por tanto convertida en niebla. Siempre dependerá del contacto con partículas frías.

Si se vive en una zona donde normalmente hay niebla, se sabe que dependiendo del día, ésta puede aparecer más o menos espesa. Cuanta más haya, menos visibilidad habrá en el



ambiente, y esto puede dar incluso problemas de visualización a la hora de conducir o de avanzar por las calles. Suele ser más densa cuando entra en contacto con otros fenómenos atmosféricos, como el viento o la lluvia, o incluso las partículas de humo o polución que puede haber en las ciudades.

Una vez conocidos todos los agentes que participan en el proceso de la niebla, se ha de saber que ésta se forma cuando esas gotitas que se suspenden en el agua y se condensan entran en contacto con una corriente de aire o con una superficie de frío. Entonces el vapor forma esas gotas de agua condensándolas y dando lugar a lo que se conoce como niebla. (parr. 3-7)

Sarochar (2016) dice que:

La niebla es un conjunto de minúsculas gotitas de agua que entorpecen la visibilidad. La niebla no es más que una nube a nivel del suelo.

Se dice que se trata de niebla, cuando la visibilidad está reducida a menos de 1 Km. Si la visibilidad es superior a 1km pero menor que 10km, se la define como neblina.

Las nieblas, se clasifican según el proceso que les da origen en:

- Niebla de radiación.
- Niebla de advección.
- Niebla de evaporación.
- Humo de mar.
- Nieblas frontales. (p. 11)

#### **2.6.10.1. Niebla de radiación**

En la figura 2.5 se muestra el tipo de niebla de radiación.

En este caso el aire se enfría por pérdida de calor desde el suelo durante la noche (por irradiación de calor al espacio). Este enfriamiento del suelo hace que el aire en contacto con

él también se enfríe. La capa afectada, resulta ser de unos pocos metros de espesor, ya que el aire es pésimo conductor de calor (Sarochar, 2016, p. 11).



Figura 2. 5. Niebla de radiación  
Fuente: Sarochar (2016)

#### **2.6.10.2. Niebla de advección**

Se muestra este tipo de niebla en la figura 2.6. Con respecto a la niebla por advección Sarochar (2016) dice que:

Se genera cuando una corriente de aire cálido y húmedo se desplaza sobre una superficie más fría. El aire se enfría desde abajo, su humedad relativa aumenta, pudiendo llegar a la saturación. Para su formación, es necesario que los vientos sean moderados (entre 8 y 24 km/h.) de manera que pueda mantenerse el flujo constante de aire cálido y húmedo.

Las nieblas de advección son frecuentes a lo largo de las costas, especialmente en invierno, cuando el aire húmedo proveniente del mar fluye hacia la tierra. (p. 12)

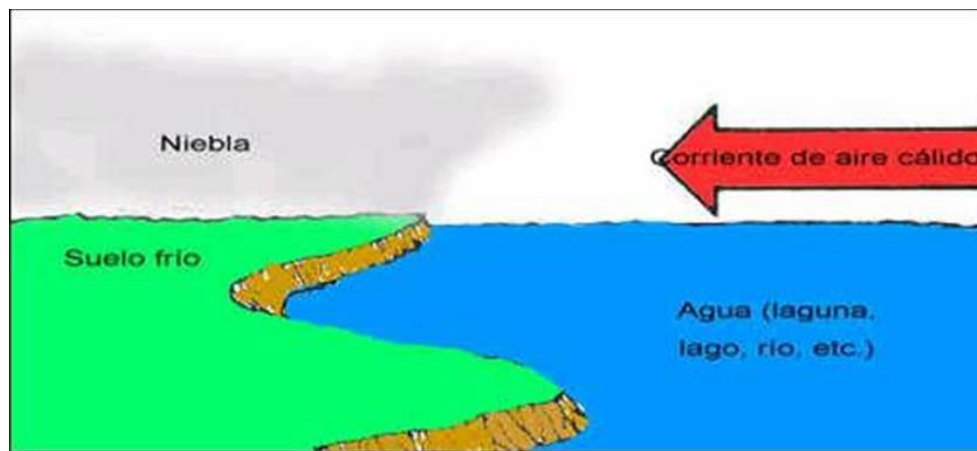


Figura 2. 6. Niebla de advección  
Fuente: Sarochar (2016)

### 2.6.10.3. Nieblas de evaporación

Se muestra este tipo de niebla en la figura 2.7. Con respecto a la niebla por evaporación Sarochar (2016) dice que:

Humo de mar: este tipo de niebla se origina cuando una corriente de aire frío se desplaza o permanece sobre el mar o espejos de agua relativamente más calientes. En estas condiciones, se produce una incorporación de vapor de agua desde el mar al aire. Este vapor satura enseguida al aire frío y se condensa formando nieblas. Son comunes en las zonas polares, cuando el aire muy frío ( $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  o  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se mueve sobre el mar libre de hielos (con una temperatura alrededor de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). (p.12)



Figura 2. 7. Niebla de evaporación  
Fuente: Sarochar (2016)

#### 2.6.10.4. Nieblas frontales

Se muestra este tipo de niebla en la figura 2.8. Con respecto a las nieblas frontales Sarochar (2016) dice que:

Este tipo de niebla se genera delante de un frente caliente. Cuando llueve, si el agua que cae tiene mayor temperatura que el aire de su entorno, las gotas de lluvia se evaporan y el aire tiende a saturarse. Se forman así nubes bajas o nieblas dentro del aire frío. Son nieblas generalmente espesas y muy persistentes. Se disipan luego del paso del frente. (p. 13)

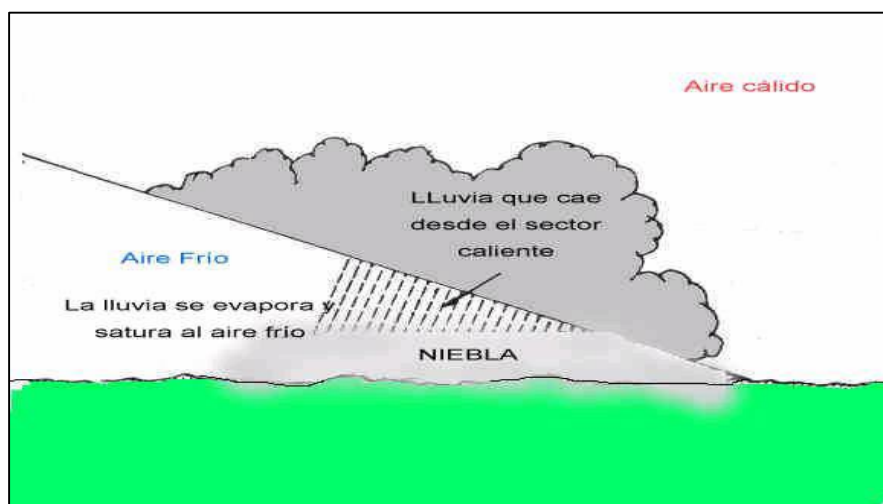


Figura 2. 8. Niebla frontal  
Fuente: Sarochar (2016)

**2.6.11. Neblina**

Juliao et al. (2016) afirman que la neblina es una: “Nube cuya humedad relativa se encuentra por debajo del 100%, permite una visibilidad mayor que la niebla y se torna de color blanquecino” (p. 46).

**2.6.12. Condensación**

Cambio de estado de una sustancia que se encuentra en estado gaseoso a líquido.

**2.6.13. Eficiencia aerodinámica**

Juliao et al. (2016) afirman que la eficiencia aerodinámica: “Corresponde a la fracción máxima de la niebla que puede ser capturada por el captador” (p. 46).

**2.6.14. Eficiencia de colección**

“Fracción de agua de niebla que en realidad se captura y llega al tanque de almacenamiento” (Juliao et al., 2016, p. 45).

**2.6.15. Eficiencia de deposición**

“Fracción de gotas en la trayectoria de colisión que en realidad es capturada por la malla” (Juliao et al., 2016, p. 45).

**2.6.16. Eficiencia de drenado**

“Fracción del agua capturada por la malla que llega realmente a la cuneta” (Juliao et al., 2016, p. 45).

**2.6.17. Neblinómetro**

“Es un dispositivo que permite la medición directa de la cantidad de agua producida por la niebla” (Juliao et al., 2016, p. 45).

**2.6.18. Número de Stokes**

“Número adimensional que representa el comportamiento que presentan partículas suspendidas en un medio fluido” (Juliao et al., 2016, p. 46).

#### **2.6.19. Temperatura**

“La temperatura es el parámetro que define la formación de niebla. Cuando masas de aire caliente se enfrían al desplazarse por la superficie y entrar en contacto con masas de aire más frío, se produce niebla.” (Juliao et al., 2016, p. 19)

#### **2.6.20. Estación meteorológica**

Son lugares preestablecidos que deben reunir determinadas condiciones técnicas para realizar las observaciones de los sucesos que se producen en la atmósfera, las que permiten contar con datos meteorológicos para una o varias finalidades en tiempo real, en tiempo diferido o ambos. (Asado, s.f.)

La estación meteorológica de Carpath es convencional y cuenta con los siguientes instrumentos: anemómetro tipo wild y veleta, termómetro de máxima y mínima del aire, psicrómetro, tanque de evaporación y componentes y pluviómetro.

#### **2.6.21. Velocidad y dirección del viento**

El viento es el aire en movimiento a una velocidad determinada a lo largo de la superficie terrestre. Dicho movimiento tiene una dirección que depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión hacia los de baja presión. (Juliao et al., 2016, p. 19)

---

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Nivel y tipo de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es aplicada porque se aplicaron conocimientos y metodologías ya existentes para la determinación de las variables de estudio.

##### 3.1.2. Nivel de investigación

###### Relacional

Porque se analiza la relación que hay entre el condiciones climatológicas (variable independiente) y la fórmula de flujo másico (variable dependiente) como se observa en el figura

3.1.

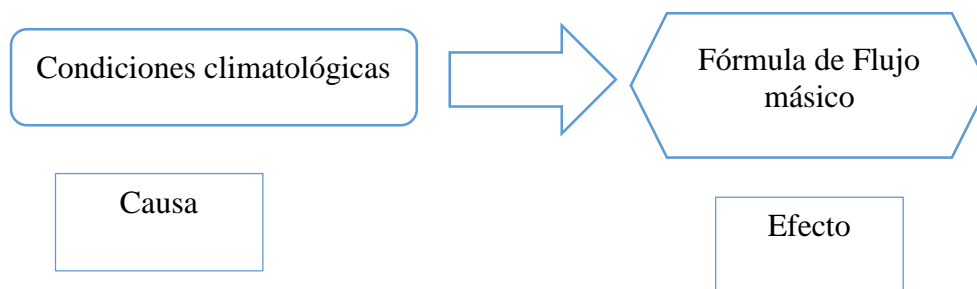


Figura 3. 1. Nivel de investigación  
Elaboración propia.

La investigación ofrece un acercamiento al problema que se pretende estudiar y conocer.

Los resultados de este tipo de tipo de investigación dan un panorama o conocimiento del tema. Con este tipo de investigación se obtiene la información para continuar con una investigación más rigurosa.

### 3.2. Marco situacional

La tecnología de la captación de nieblas está en constante investigación, ya que es una alternativa de solución frente a la escasez de agua en muchas partes del mundo, donde se presten las condiciones climatológicas adecuadas. Se han planteado múltiples prototipos que buscan mejorar la eficiencia en la colección de agua de acuerdo a las condiciones donde se han evaluado. El tipo de investigación será exploratorio, porque se tomarán los datos del campo, en un terreno disponible cercano a la estación meteorológica de Carpish.

Se muestra en la figura 3.2 las sub cuencas del distrito de Chinchao, cursos de agua y ubicación de las localidades beneficiarias con este proyecto.

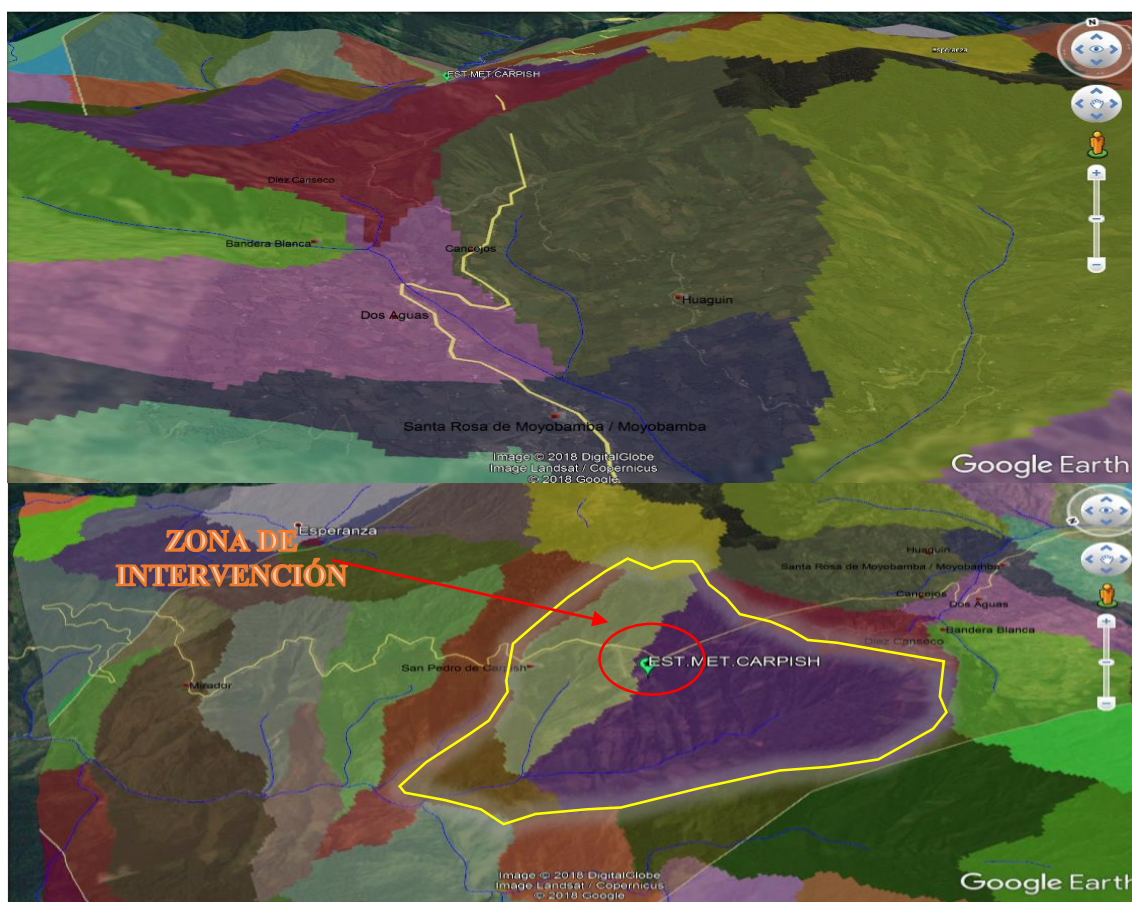


Figura 3. 2. Sub cuencas de las localidades mencionada en la tabla 1.1

Fuente: Google Earth y delimitación de cuencas ArcGis

Elaboración propia



La estación meteorológica de Carpish tiene toda la incidencia sobre el área de estudio de la presente tesis como se muestra en la figura 3.3, así que se determina el caudal máximo en la sub cuenca que cubre la estación meteorológica y San Pedro de Carpish.



Figura 3. 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas alrededor de Carpish

Nota: se observa las estaciones meteorológicas de Carpish, Huánuco, Chaglla y Tingo María.

Fuente: Google Earth

Mediante el uso del programa HEC – HMS 4.1 (figura 3.4) se calcula un caudal máximo en base a la precipitación máxima en 24 horas del año 2017 de la sub cuenca de 12.97 km<sup>2</sup> que pertenece a Carpish, que es de 0, 5 m<sup>3</sup>/s.

Como se mencionó en el capítulo I, en la tabla 1.1 San Pedro Carpish tiene un déficit de agua y saneamiento del 66%, además de que las viviendas se encuentran lejanas una de otra, podrían ser atendidas por atrapanieblas en cada vivienda.

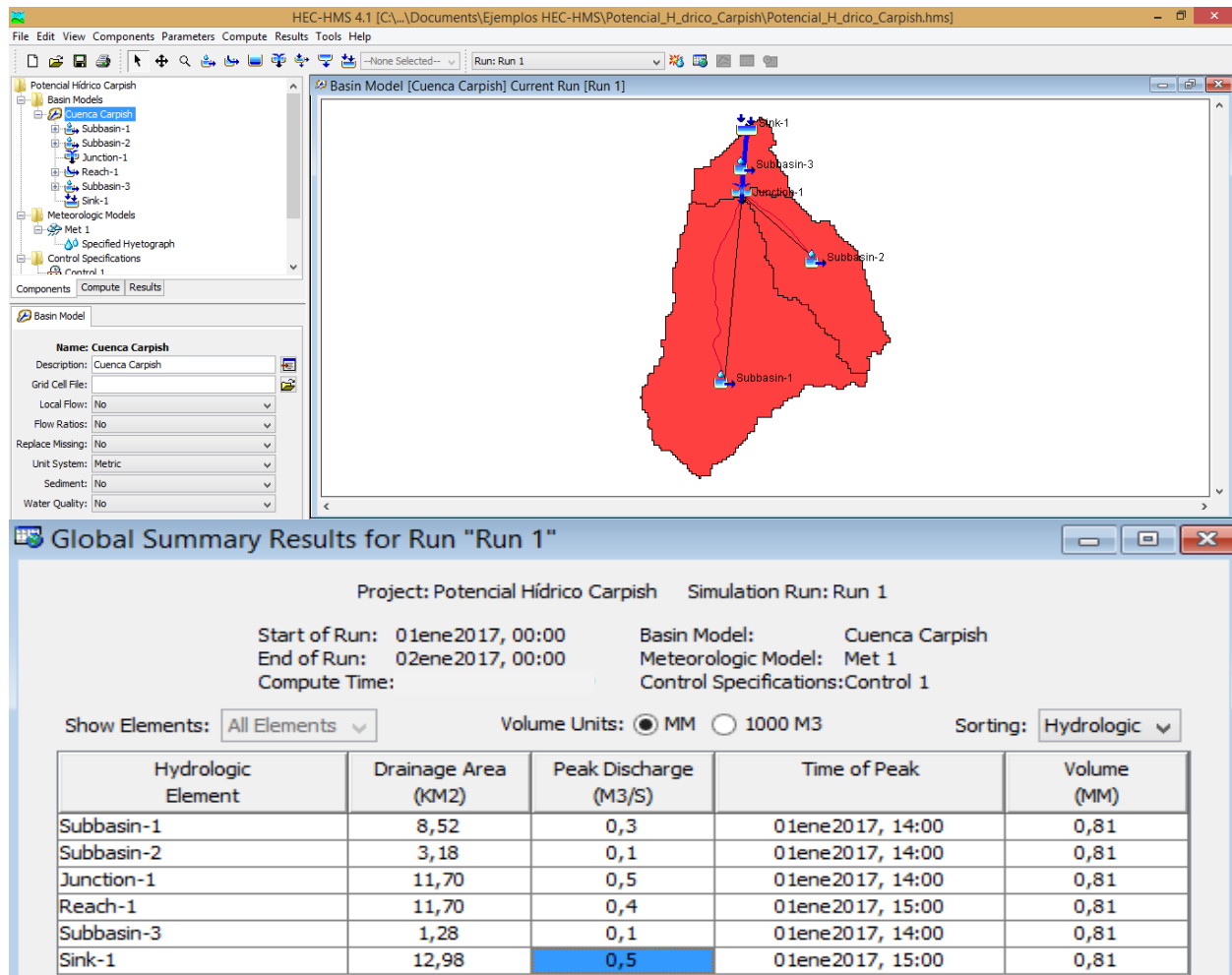


Figura 3. 4. Determinación de caudal en base a precipitación máxima de 24 horas del año 2017

Fuente: HEC-HMS 4.1.

### 3.3. Diseño de la investigación

Para lograr el objetivo general y específicos planteados en la tesis se realizaron procedimientos y metodologías que se explican en cada punto a continuación. Para resolver el objetivo general antes se resolvieron los objetivos específicos que tienen los siguientes pasos:

Objetivo 1: conocer las condiciones climatológicas en San Pedro de Carpish - Chinchao - Huánuco. Se realizaron los siguientes pasos y metodologías:

- 
- a. Se obtuvo datos mensuales de los equipos de medición (que se pueden observar en el sub ítem 3.4) de la estación meteorológica de Carpish, para conocer las condiciones climatológicas de San Pedro de Carpish.
  - b. Se realizó el tratamiento de datos con el programa SPSS 19, para conocer la distribución de datos y el valor promedio de las variables en estudio: velocidad del viento, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa; y se determinó la moda de la dirección del viento.
  - c. Se realizó una prospección cualitativa/ cuantitativa parcial de condiciones ecológicas.
  - d. Se realizaron las conclusiones en cada punto correspondiente.

Objetivo 2: determinar la eficiencia en la colección de agua del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish – Chinchao - Huánuco. Se realizaron los siguientes pasos y metodologías:

- a. Se realizó la construcción y operación del atrapanieblas en campo (que se puede ver más adelante en el sub ítem 3.5) en un terreno cercano a la estación meteorológica de Carpish.
- b. Se realizó las mediciones diarias de volumen de agua captada del atrapanieblas mediante un sistema arduino y un sensor ultrasonido HCS-04, calibrándose con mediciones directas en campo (que se puede observar más adelante en el ítem 3.4) y registro de duración del evento climatológico.
- c. Se obtuvo el agua neta de niebla mediante la metodología mostrada en el sub ítem 3.12.
- d. Se obtienen los datos de velocidad del viento, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa de los días de evaluación.
- e. Se realizó análisis estadístico de bondad, correlación entre variables para observar que variable tiene mayor incidencia; se realizó proyección teórica mensual y anual de agua de niebla en base a datos de campo y variable de mayor incidencia.

- f. Se obtuvo los valores medios de velocidad y temperatura mínima de la muestra en el procedimiento anterior para poder usarlos en la metodología de estimación de agua líquida a partir de la niebla (que se puede ver más adelante en el ítem 3.6),
- g. Se determinó la densidad y viscosidad del viento en función de la temperatura mínima cuando ocurre la formación de la niebla (que se puede ver más adelante en el ítem 3.10 y 3.11).
- h. Con la metodología del sub ítem 3.6 se calcula la eficiencia de colección del atrapanieblas plantado en Carpish.
- i. Mediante uso de tabla para obtener el contenido de agua líquida de la niebla (que se puede ver más adelante en el ítem 3.8 y 3.9).
- j. Con la metodología del sub ítem 3.6 se realiza el cálculo del flujo másico del atrapanieblas plantado en Carpish.

Objetivo 3: determinar la calidad del agua que se obtiene del sistema de captación de niebla en San Pedro de Carpish - Chinchao – Huánuco. Se realizaron los siguientes pasos y metodologías:

- a. Finalmente se realiza las pruebas de calidad de agua que se muestran en el Anexo 3, para determinar si el agua de la niebla es apta para consumo humano.

Objetivo general: evaluar la fórmula de flujo másico con fines de aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco.

Finalmente resolviendo el objetivo general, se realiza una comparación entre el agua de niebla teórica y obtenido en campo para ver diferencias y resolver la hipótesis de la investigación.

### **3.4. Instrumentación de atrapanieblas**

#### **3.4.1. Medición de parámetros asociados a la niebla**

Para la medición de variables del atrapanieblas se tuvieron datos proporcionados por el SENAMHI como humedad relativa, dirección y velocidad del viento, temperatura mínima y temperatura máxima y el equipo de medición del aumento del agua mediante el sistema Arduino con un sensor ultrasonido HC-SR04.

##### **3.4.1.1. Sensores de humedad y temperatura**

###### *3.4.1.1.1. Psicómetro*

La estación meteorológica de Carpish cuenta con un psicómetro dentro del abrigo meteorológico, que brinda la temperatura de bulbo seco y húmedo para que se pueda calcular la humedad relativa, Garay (2016) nos indica que:

El psicómetro consta de dos termómetros comunes de mercurio, dispuestos verticalmente: el primero con el bulbo descubierto se llama termómetro seco y el otro, con el bulbo cubierto por una tela delgada (muselina) se llama termómetro húmedo.

Consiste en un juego de dos termómetros iguales, uno de ellos llamado termómetro seco y el otro termómetro húmedo ya que tiene su bulbo recubierto por una muselina húmeda mediante una mecha que lo pone en comunicación con un depósito de agua destilada. Su funcionamiento es muy fácil de entender. El agua empapa la muselina y se evapora. Para evaporarse necesita calor, calor que toma del bulbo del termómetro. El agua evaporada es reemplazada por la que llega a través de la mecha. Este transporte de agua se ajusta a la velocidad de evaporación. Al termómetro le llega la misma cantidad de agua que se evapora. La velocidad de evaporación depende de la humedad del aire. Si el aire está seco habrá mayor

evaporación y si el aire está saturado no podrá admitir más cantidad de vapor y por lo tanto no habrá evaporación.

Funcionamiento: al subir la temperatura el mercurio se dilata y asciende en la columna; al bajar la temperatura el mercurio se contrae y baja la columna. El termómetro seco mide la temperatura del aire en un momento dado, y el termómetro húmedo la temperatura del aire en el punto de saturación (este valor debe ser menor o igual al registrar en el momento seco).

Observación: este aparato se lee a la 7, 13 y 19 horas. Verifique la escala de termómetro, es decir, que espacio corresponde a un grado y a una décima de grado centímetro.

#### *3.4.1.1.2. Termómetro de máximas y mínimas*

La estación meteorológica de Carpih cuenta con un termómetro de máxima y mínima dentro del abrigo meteorológico, Vásquez (2014) indica que: “El termómetro de máximas y mínimas tiene la misma forma que un termómetro, pero el bulbo es estrecho, y tiene líneas azules que van marcando la temperatura máxima y mínima alcanzada a lo largo del día” (p. 6).

#### **3.4.1.2. Sensor de velocidad**

Para la medición de la dirección e intensidad del viento la estación meteorológica de Carpih cuenta con un anemómetro de estación automática tipo wild y una veleta, ubicadas a 10 m de altura como se puede observar en la figura 3.5.

##### **3.4.1.2.1. Anemómetro y veleta**

La determinación la dirección del viento (dado que se utilizó para poder direccionar el atrapanieblas al momento del montaje) y la intensidad del viento se realizó con el anemómetro tipo wild, sobre este último Delgadillo (2018) indica que:

Es un instrumento que se utiliza para medir la dirección y la intensidad del viento, por lo tanto posee dos sensores, uno de ellos determina la dirección desde donde proviene el viento,

conocido comúnmente como veleta, y el otro consiste en tres semi esferas construidas de un material muy liviano y que al girar permiten obtener la velocidad del viento. La unidad en que se mide la velocidad del viento es el nudo.

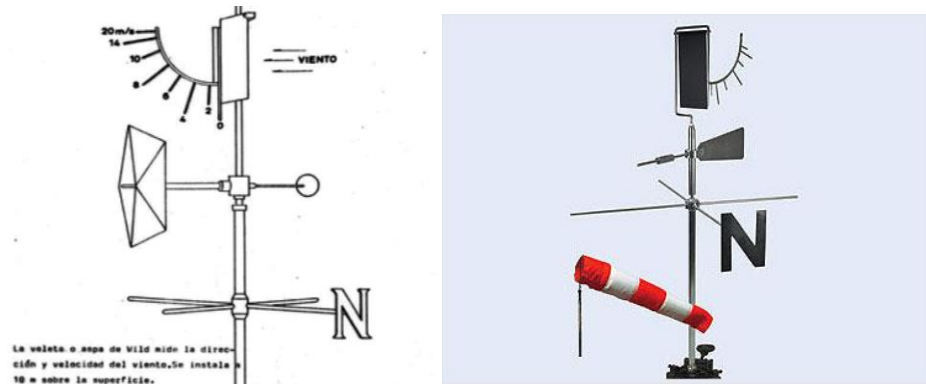


Figura 3. 5. Anemómetro tipo wild  
Fuente: <http://www.solarweb.net>

### 3.4.2. Medición de parámetro de volumen de agua captada

Para la medición del volumen de agua diario captado por el atrapanieblas se usó el sistema arduino conectado a un sensor ultrasonido que calcula la distancia del sensor al espejo de agua, en la figura 3.6 se observa el arduino empleado en Carpish. Además se realizaron mediciones diarias manuales en campo para la calibración y verificación de datos.

#### 3.4.2.1. Arduino

Colaboradores de Wikipedia (2018), indican que:

Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Toda la plataforma, incluyendo sus componentes de hardware (esquemáticos) y Software, son liberados con licencia de código abierto que permite libertad de acceso a ellos.

El hardware consiste en una placa de circuito impreso con un microcontrolador, usualmente Atmel AVR, puertos digitales y analógicos de entrada/salida, los cuales pueden conectarse a placas de expansión (shields), que amplían los funcionamientos de la placa Arduino.

Asimismo, posee un puerto de conexión USB desde donde se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el computador.

Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) basado en el entorno de processing y lenguaje de programación basado en Wiring, así como en el cargador de arranque (bootloader) que es ejecutado en la placa. El microcontrolador de la placa se programa mediante un computador, usando una comunicación serie mediante un convertidor de niveles RS-232 a TTL.

Las placas arduino están disponibles de dos formas: ensambladas o en forma de kits "hazlo tú mismo" (por sus siglas en inglés "DIY"). Los esquemas de diseño del hardware están disponibles bajo licencia libre, con lo que se permite que cualquier persona pueda crear su propia placa arduino sin necesidad de comprar una prefabricada. (parr. 1-3)



Figura 3. 6. Sistema Arduino

Nota: se tiene al sistema arduino dentro de un táper para poder protegerlo de la humedad en Carpish.

#### **3.4.2.2. Sensor de distancia de ultrasonido HC-SR04**

Para la medición del crecimiento del agua diario se usó el sensor ultrasonido HC-SR04 como se muestra en la figura 3.7.



Antes de realizar la puesta en campo se realizaron varias mediciones obteniéndose valores confiables, luego se realizó las mediciones en San Pedro de Carpihs comparándolas con mediciones directas por un observador, y obteniéndose valores muy cercanos escogiéndose los datos del arduino.



Figura 3. 7. Sensor de distancia ultrasonido HC-SR04  
Fuente: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>

ELECTRONILAB ingeniería y diseño electrónico (2018) indica que:

El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, el HC-SR04 se destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio por lo que está reemplazando a los sensores polaroid en los robots más recientes.

De fácil uso y programación con las placas de Arduino y microcontroladores.

*Características:*

- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm.
- Tensión de alimentación: 5 Vcc.

- Frecuencia de trabajo: 40 KHz.
- Rango máximo: 4.5 m.
- Rango mínimo: 1.7 cm.
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10  $\mu$ S.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000  $\mu$ S.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS.

*Pines de conexión:*

- VCC.
- Trig (Disparo del ultrasonido).
- Echo (Recepción del ultrasonido).
- GND.
- Distancia =  $\{(\text{Tiempo entre Trig y el Echo}) * (\text{V.Sonido } 340 \text{ m/s})\}/2$ .

### **3.4.2.3. Programación de Arduino**

Se muestra a continuación el lenguaje de programación que se desarrolló para determinar la altura y calcular cantidad de volumen de agua captada por la niebla.

```
#include <SD.h>

#include <Wire.h>

#include "RTClib.h"

#define trig 8

#define eco 9

float tiempo = 0;

char fecha[]="00000000.txt";

RTC_DS3231 rtc;
```

```
File myFile;

void setup()

{

  Serial.begin(9600);

  pinMode(trig,OUTPUT);

  pinMode(eco,INPUT);

  if (! rtc.begin()) {

Serial.println("No hay un módulo RTC");

while (1);

}

//rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

Serial.print("Iniciando SD ...");

if (!SD.begin(4)) {

  Serial.println("No se pudo inicializar");

  return;

}

Serial.println("inicializacion exitosa");

DateTime now = rtc.now();

}

void loop()

{

float promedio=0;

float sumatoria = 0;
```

```
float inicial=34.1;

for (int i = 0; i<40; i++)

{

float duracion, distancia, altura;

DateTime now = rtc.now();

int dia = now.day();

int mes = now.month();

int amo = now.year();

sprintf( fecha, "%.2d%.2d%.4d.txt", dia, mes, amo);

myFile = SD.open(fecha, FILE_WRITE);//abrir el archivo

if (myFile) {

    Serial.print("Escribiendo SD: ");

    digitalWrite(trig,LOW);

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(trig,HIGH);

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(trig,LOW);

    duracion = pulseIn(eco,HIGH);

    distancia = float(duracion*0.017);

    altura = inicial-distancia;

    myFile.print(now.hour());

    myFile.print(':');

    myFile.print(now.minute());
```

```
myFile.print(':');  
myFile.print(now.second());  
myFile.print(",");  
myFile.println(altura,1);  
myFile.close(); //cerrar el archivo  
Serial.print("Hora= ");  
Serial.print(now.hour());  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.minute());  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.second());  
Serial.print(",Altura= ");  
Serial.println(altura,1);  
sumatoria=sumatoria+altura;  
  
} else {  
Serial.println("Error al abrir el archivo");  
}  
delay (1000);  
  
}  
promedio=sumatoria/40;  
DateTime now = rtc.now();  
int dia = now.day();  
int mes = now.month();
```

```
int amo = now.year();

sprintf( fecha, "%.2d%.2d%.4d.txt", dia, mes, amo);

myFile = SD.open(fecha, FILE_WRITE);//abrir el archivo

if (myFile) {

    Serial.print("Escribiendo SD: ");

    myFile.print("PROMEDIO");

    myFile.print(now.hour());

    myFile.print(':');

    myFile.print(now.minute());

    myFile.print(':');

    myFile.print(now.second());

    myFile.print(",");

    myFile.println(promedio,1);

    myFile.close();

    Serial.print("Hora= ");

    Serial.print(now.hour());

    Serial.print(':');

    Serial.print(now.minute());

    Serial.print(':');

    Serial.print(now.second());

    Serial.print(",Promedio= ");

    Serial.println(promedio,1);

}
```

```
else {  
    Serial.println("Error al abrir el archivo");  
}  
  
delay(3600000);  
}
```

### **3.5. Construcción y operación de atrapanieblas**

El atrapanieblas se montó en un terreno libre y cercano a la estación meteorológica de Carpish como se muestra en la figura A5.1 y A5.2 del anexo 5, con previo acuerdo con los dueños se construyó y se acordó que lo cuiden y observen.

La operación y funcionamiento del atrapanieblas se observa en la figura A5.3 y A5.4 del anexo 5, donde se observan control de datos y la misma recolección del agua de la niebla correspondientemente. También estos tienen un tiempo de vida útil, Cuéllar, J. (2018) concluye “que un periodo de diseño para un atrapanieblas es de 10 años” (p. 38).

#### **3.5.1. Materiales**

Para la construcción del atrapanieblas se usó los siguientes materiales:

- Parantes de eucaliptos 3 m. de longitud.
- Malla raschel.
- Tubería PVC de 4'' y ½''.
- Codo PVC de 4'' y ½''.
- Reducción PVC de 4 a 2'' y de 2'' a ½''.
- Contenedor de Agua.
- Equipo de medición del agua arduino.

Estos materiales se pueden observar en la figura 3.8.

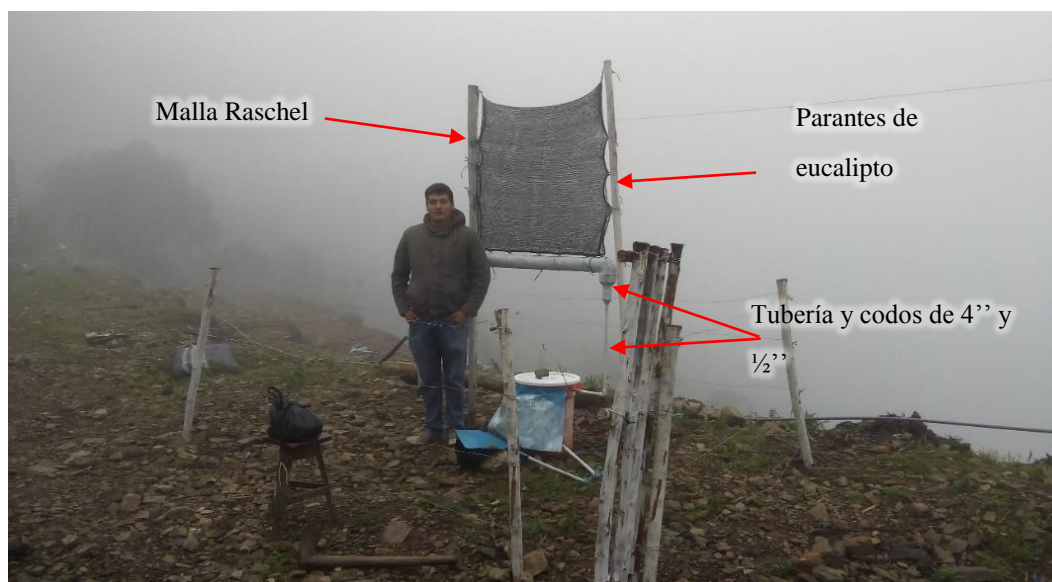


Figura 3. 8. Sistema experimental de atrapanieblas SEA-01 en Carpish - Chinchao - Huánuco  
 Nota: se denominó SEA-01(Sistema Experimental de Atrapanieblas) al atrapanieblas ubicado en las coordenadas E = 379961.50 m, N = 8926884.60 m Z = 2580

### 3.5.2. Construcción

Se efectuó siguiendo las indicaciones del plano del sistema experimental atrapanieblas como se puede observar en el anexo 4. Teniendo la gran mayoría de los elementos ya elaborados, como las parantes de eucaliptos (lijados y pintados), la canaleta (tubería de 4'' perforado un área de 0.05 m<sup>2</sup> ya acondicionado con un codo de 4'', reducción de 4 a 2'' y de 2 a 1/2''), malla raschel (doble malla con un área de 1 m<sup>2</sup>) amarrado a la canaleta con rafia, en campo se realizó el nivelado de terreno donde se pondría el contenedor (para tener mayor eficacia la medición del equipo arduino-sensor ultrasonido HC-SR04), luego la excavación manual y colocación de los parantes de eucalipto, amarrado la malla raschel a los parantes y la conexión de la canaleta al contenedor con tubería de 1/2'' . Finalmente se tiene el atrapanieblas construido y montado como se muestra en la figura 3.8.

### 3.6. Estimación de agua líquida a partir de la niebla

Juliao, et al. (2016) en la tesis de grado: diseño mediante modelos matemáticos de un prototipo para la captación de niebla en la Vereda de Leticia, Corregimiento de Pasacaballos (Bolívar), como



---

método de recolección de agua, deja ver la metodología para la estimación del agua líquida a partir de la niebla y se muestra a continuación:

**Estimación de agua líquida a partir de la niebla:** la cantidad de agua producida por la niebla se puede determinar a partir de la información generada por los neblinómetros. Sin embargo, la disponibilidad de estos dispositivos es escasa en la etapa de exploración de los proyectos, por lo cual se requiere de la medición de otros parámetros que permitan, mediante el uso de ecuaciones matemáticas, determinar la producción de agua líquida en un lugar que no cuente con neblinómetros.

Para determinar el potencial de producción de agua líquida a partir de la niebla, se usará la ecuación de flujo másico:

$$m_i = \rho v A \quad (1)$$

Dónde:

$m_i$  = Flujo másico (Kg/s)

$v$  = Velocidad media del viento (m/s)

$\rho$  = Densidad de agua en la niebla o LWC (Liquid Water Content) (Kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Área de la pantalla

El potencial de producción de agua líquida en la niebla en un lugar determinado se puede determinar recurriendo a la medición de otros parámetros. La mayor parte del agua en la niebla está presente en fase gaseosa en lugar de fase líquida, lo que infiere que la cantidad de agua transportada por la niebla (contenido de agua líquida-LWC) es muy limitada. Esta se puede definir como la cantidad de agua que está presente en un metro cúbico de niebla, se expresa en gm<sup>-3</sup> o como masa de agua gKg<sup>-1</sup> y tiene un valor de 0,2 g a 0,5 g de agua líquida por m<sup>3</sup>. También se necesita determinar la eficiencia de la recolección.

Por tanto, el flujo másico recolectado será:

$$\dot{m} = \rho v A E \quad (2)$$

Dónde:

$E$  = Eficiencia de recolección de la niebla (%)

Para pasar de caudal másico a caudal líquido se definirá un periodo de medición (1/día) y conociendo que un Kg de agua equivale a 1 Litro de la misma, se podrá obtener el potencial de producción en L/m<sup>2</sup>.día.

**Principio de operación y eficiencia de colección:** la eficiencia de colección se define como la fracción del agua que contiene la niebla que llega al estanque de almacenamiento. La eficiencia de colección se puede descomponer en tres eficiencias: la eficiencia aerodinámica, la eficiencia de deposición y la eficiencia de drenado.

$$\eta_{col} = \eta_{AC} \eta_{dep} \eta_{dr} \quad (3)$$

Para entender la eficiencia aerodinámica de colección hay que tener en cuenta que la malla es una obstrucción para el flujo de la niebla. Por lo tanto, parte del flujo pasará por los alrededores de la malla (figura 3.9).

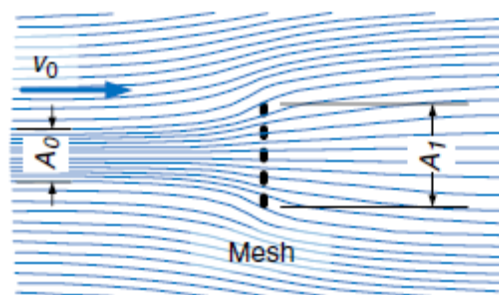


Figura 3. 9. Flujo de atrapanieblas  
Fuente: Rivera (2011)

En la anterior imagen se muestra el flujo de niebla de velocidad  $V_0$  que se dirige hacia la malla del atrapanieblas; parte de este flujo se desvía y pasa por los alrededores. El área  $A_0$  corresponde al flujo de niebla que pasa a través de la malla;  $A_1$  corresponde al área efectiva de la malla del

---

atrapanieblas. La razón de áreas  $A_0/A_1$ , también llamada como relación de área de flujo libre ( $A_{op}/A$ ) por Juan de Dios Rivera, representa la fracción del flujo no perturbado que efectivamente llega a la malla.

$$f = A_{op}/A \quad (4)$$

Dónde:

$A_{op}$ =Área de apertura de la malla (m<sup>2</sup>)

$A$ =Área total de la pantalla (m<sup>2</sup>)

La fracción de niebla que pasa a través de la malla depende de las características del tejido de la malla y de su permeabilidad, que es función inversa del coeficiente o porcentaje de sombra,  $S$ . El porcentaje de sombra es la fracción porcentual del área que cubren los filamentos de la malla. Se usa esta característica en lugar de la porosidad, que es el complemento, porque es la forma corriente de designar las mallas Raschel, que son las más usadas en atrapanieblas. Las mallas Raschel se fabrican principalmente para proporcionar sombra. La cantidad de niebla que atraviesa 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. Por otro lado, la cantidad de gotitas de agua que chocan con los filamentos de la malla es función directa de la fracción de sombra. Por lo tanto, existe una fracción de sombra óptima para cada malla: si es muy grande pasará muy poca niebla, si es muy chica, pocas gotas chocarán con los filamentos. En resumen, la eficiencia aerodinámica depende del coeficiente de sombra  $s$  para una malla determinada.

Muchos documentos sobre colectores de niebla utilizan el concepto de coeficiente de sombra,  $s$ , que es igual a uno menos la proporción de área de flujo libre.

$$S = 1 - f \quad (5)$$

Un gráfico típico de la eficiencia aerodinámica versus el coeficiente de sombra se muestra en la figura 3.10. Es concebible aumentar la permeabilidad de la malla mediante un diseño aerodinámico cuidadoso del tejido y de sus filamentos, con lo que se podría aumentar la eficiencia máxima de colección. La presión del viento sobre la malla también se puede modificar ligeramente cambiando su razón de aspecto y convexidad.

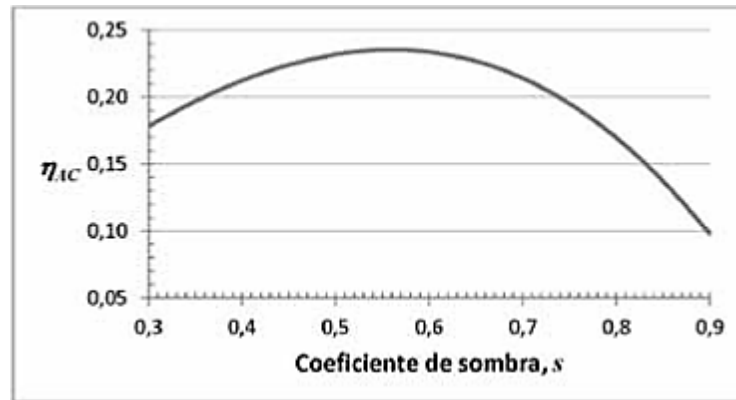


Figura 3. 10. Eficiencia de colección vs coeficiente de sombra  
Fuente: Rivera (2011)

La eficiencia aerodinámica de colección se puede calcular de la siguiente manera:

$$\eta_{AC} = \frac{S}{1 + \sqrt{\frac{C_o}{C_D}}} \quad (6)$$

Dónde:

$S$ = Coeficiente o porcentaje de sombra

$C_o$ =Coeficiente de caída de presión del flujo de aire que atraviesa la malla

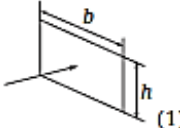

$C_D$ =Coeficiente de arrastre de una superficie no permeable

El coeficiente de arrastre ( $C_D$ ) en este modelo corresponde a una pantalla no permeable y, por tanto, es independiente del coeficiente de sombra,  $S$ . Sin embargo, el coeficiente de caída de presión depende de  $S$ . Nótese también que ya que ambos coeficientes son independientes de la

velocidad del viento, LWC, y distribución del tamaño de las gotitas, la  $\eta_{AC}$  sólo depende del coeficiente de sombra, la geometría del colector y la malla característica aerodinámica.

Los valores de coeficiente de arrastre son independientes del número de Reynolds con base a la altura de la malla ( $Re_h > 1000$ ) para superficies con aristas afiladas, ya que estas ocasionan que la capa límite se separe en el mismo lugar. Esta condición se presenta para flujos turbulentos; incluso para el colector más pequeño (un SFC con unas dimensiones de uno por un metro) el número de Reynolds es de más de  $1,4 \times 10^5$ , lo que significa que el flujo es totalmente turbulento. White da valores de coeficiente de arrastre para placas rectangulares de diferentes relaciones de aspecto  $b/h$  y Fox y McDonald dan  $C_D$  para una pantalla en forma de C; Ambos se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1  
 *$C_D$  para placas rectangulares y pantallas en forma de C*

Geometry	Aspect ratio ( $b/h$ )	Drag coefficient ( $C_d$ )
	1	1.18
	5	1.2
	10	1.3
	20	1.5
	$\infty$	2.0
		2.3

Fuente: Rivera (2011)

Tras una inspección de la ecuación de la eficiencia aerodinámica es evidente que esta aumenta al aumentar coeficiente de arrastre. En cuanto a los valores de la tabla anterior, esto implica que una mayor relación de aspecto es mejor para una placa plana, y que una placa en forma de C o cóncava debe tener una eficiencia aerodinámica más alta que una plana. Estas son las conclusiones importantes para el diseño de mejores colectores de niebla.

Es más difícil conseguir el coeficiente de caída de presión, porque depende de la relación de área de flujo libre ( $f$ ), las características de las fibras de malla y su tejido. La recopilación más completa de correlaciones para este coeficiente es realizada por Idel'cik. Él hace la diferencia entre mallas de alambre y de seda.

La correlación básica para la malla de alambre es:

$$Co = 1.3(1 - f) + \left(\frac{1}{f} - 1\right)^2 = 1.3S + \left(\frac{S}{1 - S}\right)^2 \quad (7)$$

El coeficiente de caída de presión para la malla de seda es igual a la una para malla de alambre multiplicado por una constante:

$$Co = K_{RE} \left(1.3(1 - f) + \left(\frac{1}{f} - 1\right)^2\right) = 1.62 \left(1.3S + \left(\frac{S}{1 - S}\right)^2\right) \quad (8)$$

Las dos ecuaciones anteriores son válidas para un número de Reynolds basado en el diámetro de la fibra de malla ( $Re_D$ ) menor que 400. Éste se calcula de la siguiente manera:

$$Re_D = \frac{\rho_v v D}{\mu} \quad (9)$$

Dónde:

$\rho_v$ =Densidad del viento ( $\text{kg/m}^3$ )

$v$ =Velocidad del viento ( $\text{m/s}$ )

$D$ =Diámetro de la fibra de la malla ( $\text{m}$ )

$\mu$ =Viscosidad del viento ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

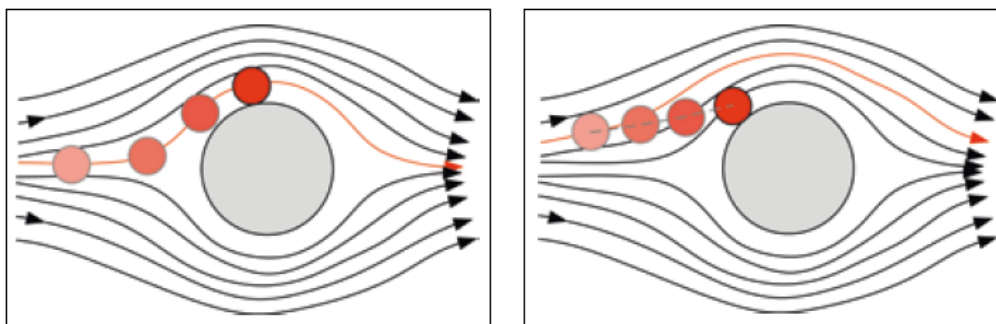
Dado que la mayoría de los materiales de malla utilizados en la colección de agua de niebla son de plástico, sólo se considerará sólo la última ecuación, suponiendo que las fibras de plástico son más similares a la seda que al alambre. Para  $Re_D$  menor que 400, Idel'cik da un factor de corrección  $k_{Re}$  que multiplica la ecuación, el cual se muestra en la Tabla 3.2. Para  $Re_D$  mayor que 400, el factor de corrección  $k_{Re}$  tiene un valor de 1.62.

Tabla 3. 2  
Factor de corrección para  $Re_D$  menor a 400

$Re$	$K_{Re}$
40	1.16
80	1.05
120	1.01
300	1.00
350	1.01
400	1.01

Fuente: Rivera (2011)

La eficiencia de deposición toma en cuenta que las gotitas tienden a seguir las líneas de flujo del aire y van a tratar de pasar por los costados de los filamentos. Si una gotita sigue perfectamente las líneas de flujo, pero esta última pasa a una distancia de la superficie del filamento menor que el radio de la gotita, ella chocará y se depositará, como muestra la figura 3.11.a. Esto se llama deposición por intercepción. Las gotitas tienen una densidad casi mil veces mayor que el aire, y si su tamaño y velocidad son suficientemente grandes comparado con la curvatura de la línea de flujo en la que se encuentra inicialmente, no la podrá seguir, continuando en una trayectoria más recta y, eventualmente, chocando con el filamento, como muestra la figura 3.11.b. Ese mecanismo se llama deposición inercial.



a) La gotita (en rojo) sigue la línea de flujo roja pero choca con el filamento (en gris) porque su radio es mayor que la distancia entre la línea de flujo y el obstáculo.

b) La gotita (en rojo) no es capaz de seguir la línea de flujo roja por inercia y choca con el filamento (en gris)

Figura 3. 11. Deposición de gotas (a) por intercepción y (b) por inercia

Fuente: Rivera (2014)

Estos dos mecanismos de captura son más efectivos si el diámetro del filamento es del orden del tamaño de las gotitas. Por lo tanto, conviene que la malla tenga los filamentos lo más delgados posible. Sin embargo, hay dos limitaciones importantes para el grosor de los filamentos: la primera es que, al disminuir su diámetro para un mismo coeficiente de sombra, también disminuye la resistencia mecánica de la malla. La segunda limitación es que, conservando constante el coeficiente de sombra, al disminuir el diámetro de los filamentos también disminuye el tamaño de las aberturas entre ellos. El problema que esto último presenta es que llega un momento en que estas aberturas empiezan a ser bloqueadas por gotas de agua que las cubren por tensión superficial, como muestra la figura 3.12.

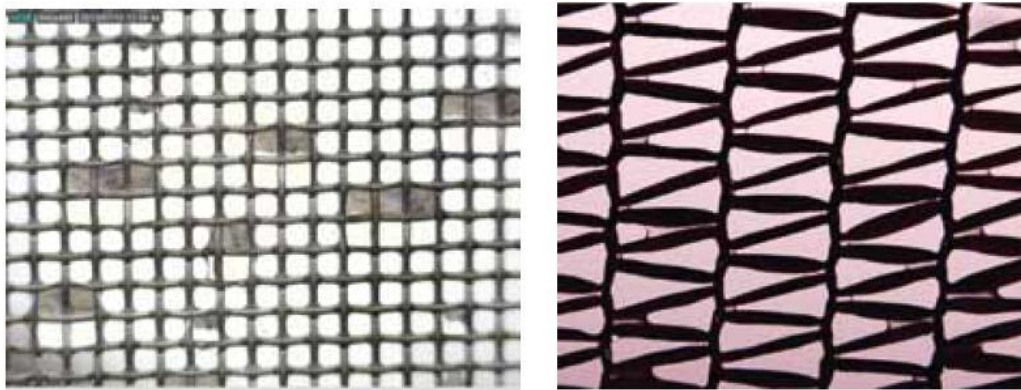


Figura 3. 12. Mallas de acero inoxidable y raschel con gotas que cubren parcialmente las aberturas.  
Fuente: Rivera (2014)

La eficiencia de deposición se puede calcular utilizando las ecuaciones para el impacto de partículas en un cilindro en flujo cruzado, sugeridas por Langmair y Bladgett, para un número de Stokes mayor a 0.08:

$$n_{dep} = \frac{stk^2}{(stk + 0.6)^2} \quad (10)$$



$$n_{dep} = \frac{stk}{stk + \frac{\pi}{2}} \quad (11)$$

Stk es el número de Stokes, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$stk = \frac{\rho_t v d_a^2}{18\mu D_w} \quad (12)$$

Dónde:

$\rho_t$ =Densidad de la gota de agua (Kg/m<sup>3</sup>)

v=Velocidad del viento (m/s)

$\mu$ =Viscosidad del viento (pa.s)

$d_a$ =Diámetro de la gota (m)

$D_w$ =Diámetro de la malla (m)

Finalmente, la eficiencia de drenado se define como la razón entre el agua que llega al estanque de almacenamiento y la que se ha depositado en la malla. Las pérdidas se producen por arrastre de gotas por el viento, agua que se desprende de la malla y cae fuera de la canaleta.

### 3.7. Parámetros que intervienen en la formación de la niebla

El aire a una temperatura dada puede contener una cantidad determinada de vapor de agua, con un máximo hasta un límite que depende de la temperatura. Cuando se alcanza el límite, se dice que el aire está saturado de humedad. Si se excede del límite, el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes. El concepto de humedad tiene importancia en la climatología, porque es un factor en la determinación de los tipos de climas.

La temperatura es un factor muy importante que interviene en la formación de la niebla, y en sus variables como la humedad relativa, dirección e intensidad del viento. La formación de la niebla esta condicionada por la temperatura mínima, “para formar la niebla, la humedad relativa del aire debe estar más cerca del 100%, y la temperatura del aire mas cercana al suelo debe estar

dentro de la temperatura del punto de rocío” (Gandhidasan, Abualhamayel y Patel, 2017,p. 5). El punto de rocío o temperatura de rocío es la más baja temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube.

Como se muestra en la figura 3. 13 que a menor temperatura se tendrá mayor cantidad de agua captada de la niebla, entonces se observa la relación directa que existe entre el potencial hídrico de la niebla y la temperatura mínima.

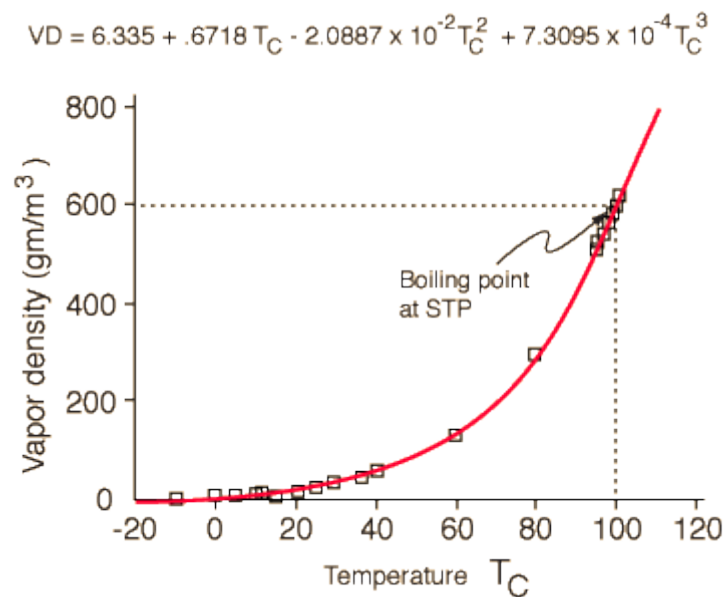


Figura 3. 13. Ajuste empírico de la densidad de vapor saturado en comparación con la temperatura Celsius  
Fuente: Olmo y Nave,(2018)

Aránguiz, Morales, Nieto y Silva (2009) dejan ver que:

El viento, aire en movimiento, es el factor que determinará la dirección y velocidad de la niebla, el cual está directamente definido por las temperaturas que, éste adopta, por medio de los rayos de calor (infrarrojos) reflejados por la superficie terrestre y acuática. El viento se produce específicamente por las diferencias de temperatura en el aire, y por tanto de densidad, entre dos regiones de la tierra. La dirección y velocidad del viento varía de acuerdo a los distintos horarios

del día, así como también con las temporadas del año, las que crean cambios de temperatura, por consiguiente cambios en el viento. (p. 53)

OMM (como se citó en Martínez, 2015) indica que:

La intensidad o rapidez del viento depende directamente de la diferencia de presión y es medido por instrumentos como el anemómetro reportándolo en nudos, kilómetros por hora o metros por segundo. Cuando la intensidad del viento es menor que dos nudos, los anemómetros son poco sensibles, conociéndose como viento en calma. (p. 19)

Contreras (2012) en el análisis e interpretación de datos en su investigación realizó la correlación entre las variables de formación de niebla (temperatura, velocidad del viento, presión y humedad relativa) y la cantidad de agua colectada teniendo los grados de correlación en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3

*Grado de correlación de variables en la formación de la niebla y la cantidad de agua captada del atrapanieblas*

Variables	Grado de correlación con la cantidad de agua de atrapanieblas
Temperatura	-0.612
Velocidad del viento	-0.088
Presión	-0.336
Humedad relativa	0.185

Fuente: Contreras (2012).

Nota: son datos obtenidos del cuadro de correlación elaborado por Contreras (2012).

Elaboración propia.

En base a este análisis de correlación se realiza un ensayo teórico de porcentajes de incidencia de variables en la cantidad de agua de atrapaniebla que se puede ver en la figura 3.14, donde se puede observar que la variable temperatura tiene mayor porcentaje de incidencia en la cantidad de agua que se puede captar de la niebla.

Más adelante se realiza el análisis estadístico de correlación e interpretación de datos climatológicos (temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa y velocidad del viento) y agua captada de la niebla obtenidos en Carpish, y teniendo un grado de correlación mayor con la temperatura mínima.

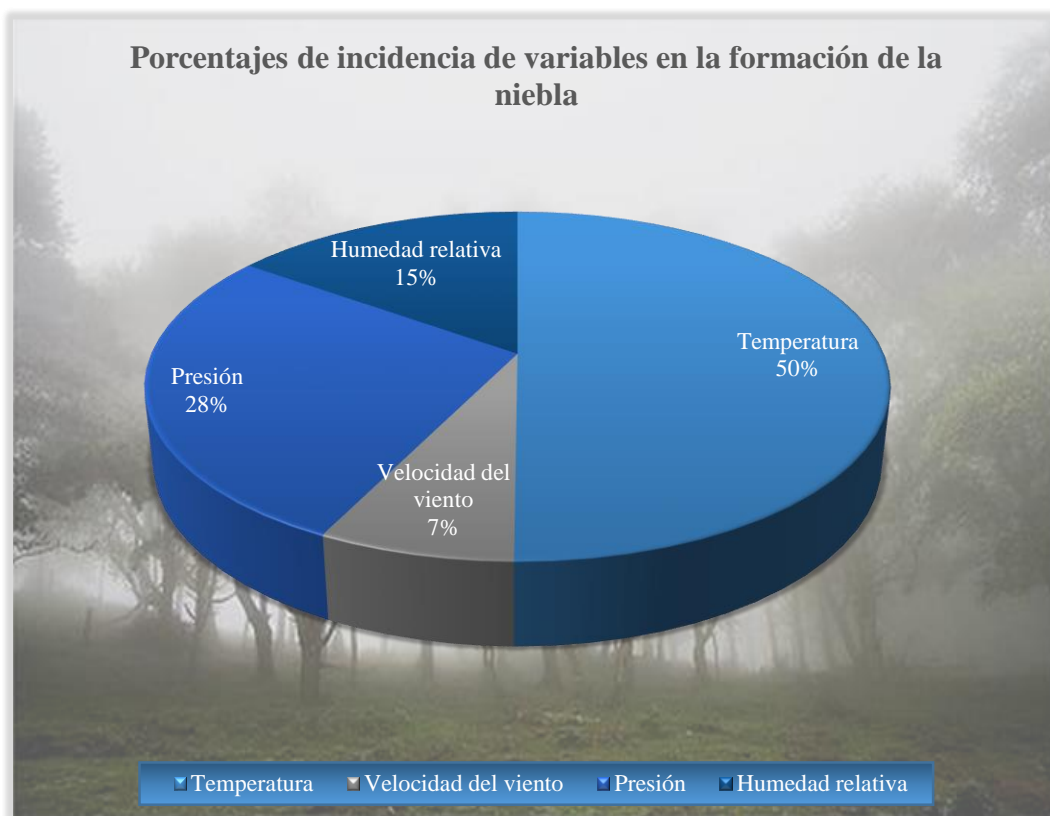


Figura 3. 14. Porcentajes de incidencia de variables en la cantidad de agua de atrapanieblas.  
Elaboración propia

Pero no solo son estas variables que influyen en la formación de la niebla y en su cantidad de agua que se puede captar, así que se realiza un ensayo teórico en forma superficial de los intervalos de incidencia porcentual de las variables estudiadas (temperatura mínima, temperatura máxima, velocidad del viento, presión, humedad relativa, vegetación, polución, duración de niebla, altitud, deforestación, cambio climático) que se puede apreciar en la figura 3.15.

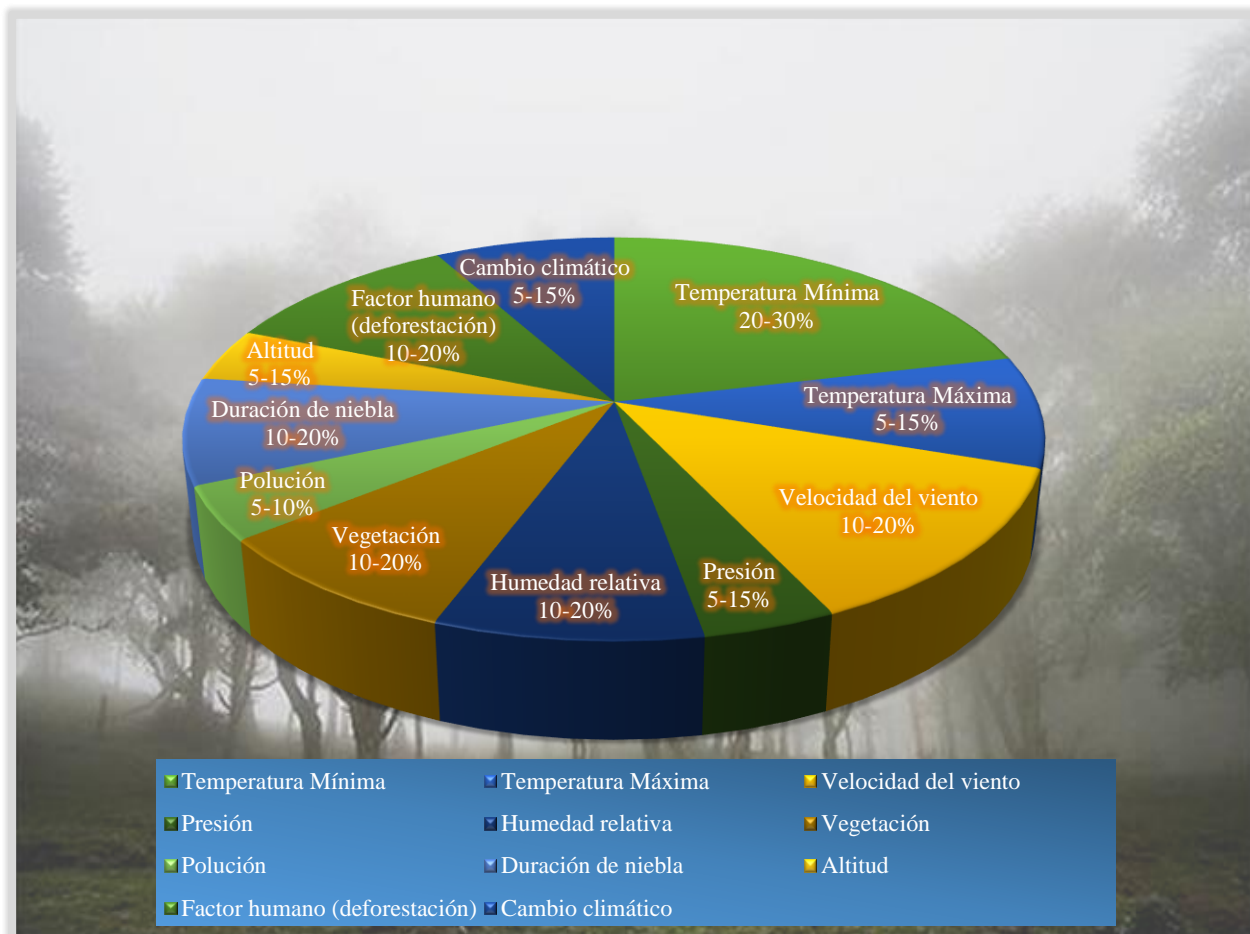


Figura 3. 15. Ensayo teórico superficial de incidencia porcentual de las variables que influyen en la cantidad de agua captada de la niebla  
Elaboración propia

### 3.8. Contenido de agua líquida (LWC)

Gandhidasan et al. (2017) en su investigación: simplificación de modelos y análisis del sistema de recolección de agua de niebla en la región Asir del Reino de Arabia Saudita, dejan ver que:

Hay cuatro grandes grupos de nubes (Weather World, 2010) y son:

- Nubes de bajo nivel: se encuentran a elevaciones por debajo de los 2.000 m. Tipos: nimbostratos y estratocúmulos.
- Nubes de nivel medio: se encuentran en elevaciones que van de 2.000 a 6.000 m. Tipos: altocumulus, altoestratos.

- Nubes de alto nivel: se encuentran a altitudes de 6.000 m y superiores. Tipos: cirros y cirroestratos.
- Nubes desarrolladas verticalmente: se encuentran a altitudes superiores a 12,000 m.
- Tipos: cumulus y cumulonimbus.

La masa del agua en la nube está representada por el contenido de agua líquida (LWC) y se expresa en gramos por volumen de aire. LWC está conectado a tres variables, a saber, el diámetro efectivo de gota de agua, la concentración de gota y su distribución de tamaño. El LWC varía con el tipo de nubes presentes en el lugar y existen diferentes técnicas disponibles para medir el LWC (Wrzesinsky et al., 2004; Wallace y Hobbs, 2006). LWC de algunos tipos de nubes se dan en la Tabla 3.4. (Thompson, 2007). Los cirros no están relacionados con la precipitación, mientras que las nubes cumulonimbus están directamente asociados con las tormentas. La niebla es una nube de estrato y la única diferencia entre niebla y estratos es la diferente altitud de la base de la nube.

La niebla es la forma de la nube y consiste en gotas de agua condensadas. Su diámetro varía de 1 a 40  $\mu\text{m}$  (0.001-0.04 mm) y cae a velocidades que van desde menos de 0.6  $\text{m min}^{-1}$  a aproximadamente 3  $\text{m min}^{-1}$  sometidas en cualquier momento al transporte horizontal por el viento. (Schemenauer et al., 2005)

Tabla 3. 4  
*LWC en varios tipos de nubes*

Tipo	LWC, g m <sup>-3</sup>
Nube de cirro	0.03
Nube de estratos	0.25-0.30
Nube de Cúmulos	0.25-0.30
Nube de Estratocúmulos	0.45
Nube cumulonimbus	1.0 - 3.0

Fuente: Thompson (2007)

### 3.9. Tipo de nube en San Pedro de Carpish

Como se mencionó se tiene varios tipos de nubes que se puede apreciar en la figura 3.18.

Toscano (2015-2016) en el tema 8 - nubes y nieblas de su curso de meteorología indica que:

El enfriamiento por expansión, ascenso orográfico se da cuando una masa de aire se acerca a una montaña, a una colina, o a la línea de costa, se ve forzada a ascender, produciéndose el enfriamiento. Si se alcanza el nivel de condensación, se forma nubosidad de tipo estratiforme o cumuliforme como se observa en la figura 3.16.



Figura 3. 16. Ascenso orográfico de una masa de aire sobre una montaña

Fuente: <http://www.esi2.us.es/DFA/Meteo/Tema%208%20MET%20v250315.pdf>

Este enfriamiento se produce tanto por expansión adiabática debida al ascenso de la masa de aire, como por contacto de la misma con la superficie frontal fría como se muestra en la figura 3.17.

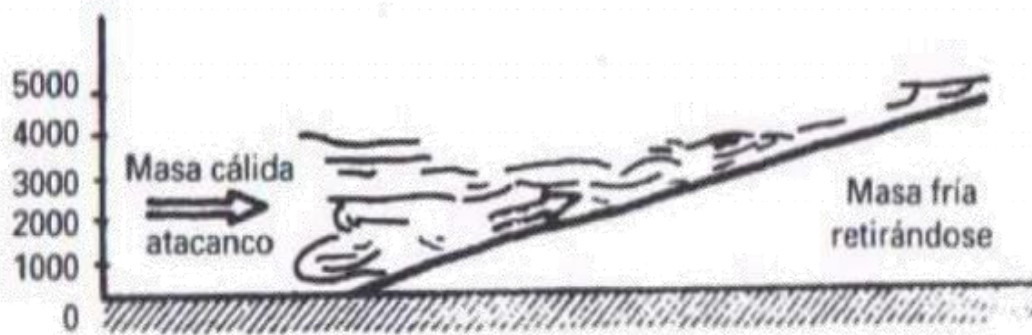


Figura 3. 17. Proceso de expansión adiabática

Fuente: <http://www.esi2.us.es/DFA/Meteo/Tema%208%20MET%20v250315.pdf>

La disipación de las nubes puede producirse por precipitación, por la mezcla con aire más seco de los alrededores, por calentamiento solar a lo largo del día, o por la presencia de corrientes verticales descendentes.

En este último caso, típico de los anticiclones, la masa de aire se calienta adiabáticamente en el descenso, evaporando las gotitas de agua que constituyen la nube. El estrato donde se produce la subsidencia (descenso del aire) se seca y se calienta, observándose en el mismo una inversión de temperatura y disminución de la humedad.

Dependiendo de los procesos de formación de las nubes, del grado de estabilidad, y de la agitación del aire, pueden considerarse tres formas fundamentales de nubes:

**Nubes cumuliformes:** se caracterizan por su desarrollo vertical, están asociadas con masas de aire inestable, donde se producen rápidos movimientos verticales. Las gotitas que las constituyen son grandes. Se asocian a las lluvias fuertes.

**Nubes estratiformes:** formadas por gotitas de pequeño tamaño, son nubes que se extienden horizontalmente, y que están asociadas con masas de aire estable, donde los movimientos verticales son débiles. Se asocian a las lluvias débiles y finas.



Nubes cirriformes: están constituidas por cristalitas de hielo, que se forman por sublimación del vapor de agua. Son nubes de poco espesor, que están asociadas con ascensos muy lentos a gran escala, y con vientos fuertes en altura, incluso, se asocian a veces a la corriente en chorro.

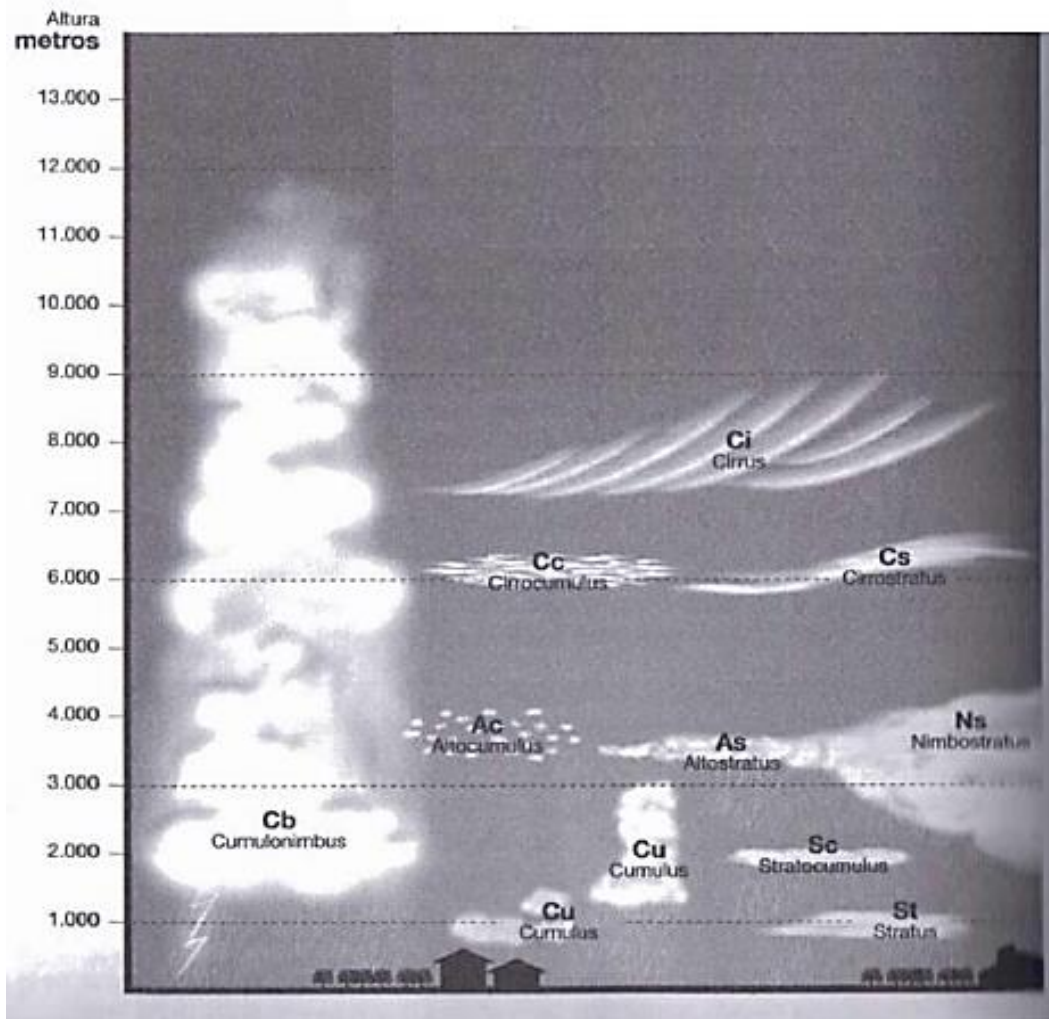


Figura 3. 18. Tipos de nubes según altitud

Fuente: <http://www.esi2.us.es/DFA/Meteo/Tema%208%20MET%20v250315.pdf>

En la figura 3.18 se observa los tipos de nubes ubicados de acuerdo a su altitud, en la figura 3.19 se tiene una vista de la formación de la niebla en Carpish a una altura de 2582 msnm, también se observa su crecimiento vertical y en la figura 3.20 que luego de unos minutos se tiene el sistema experimental atrapanieblas (SEA-01) cubierto de niebla.



Figura 3. 19. Niebla en Carpish - tipo de nube de cúmulus

Nota: se observa el crecimiento vertical de la masa de aire caliente que en contacto con la superficie sufre enfriamiento condensándose el vapor de agua y produciéndose la niebla.

Fuente: propia



Figura 3. 20. Formación de la niebla del SEA-01

Nota: se observa el proceso de formación de niebla completa, donde se cubre toda la zona y se pierde visibilidad.

Fuente: propia

### 3.10. La densidad del aire en función de la temperatura y la altitud

Efay (1996) en su libro de mecánica de fluidos deja ver que:

La atmósfera de la Tierra es una comparativamente delgada del gas que permanece en la superficie de la tierra gracias a la atracción de la gravedad. Su densidad y presión son mayores en la superficie de la Tierra y ambas disminuyen aproximadamente en forma exponencial con la altitud (...).

Se tiene la ecuación fundamental de la estática de los fluidos:

$$dp + g \rho(z) dz = 0 \quad (13)$$

La Ley de los gases perfectos:

$$p = \rho RT \quad (14)$$

Con el propósito de calcular la presión y densidad de la atmósfera, es posible considerad el aire como un gas perfecto que obedece la ley de los gases perfectos, ecuación 14 donde la constante R de los gases no varía con la altura. Si se sustituye la ley de los gases perfecto en la ecuación diferencial del equilibrio de fuerza, ecuación 14, y luego se integra, se encuentra una expresión para la presión  $p(z)$ :

$$\begin{aligned} dp + g \left[ \frac{p}{RT(z)} \right] dz &= 0 \\ \left( \frac{dp}{p} \right) + \left( \frac{g}{R} \right) \frac{dz}{T(z)} &= 0 \\ \int_{p_0}^{p(z)} \left( \frac{dp}{p} \right) + \left( \frac{g}{R} \right) \frac{dz}{T(z)} &= 0 \\ \ln \left[ \frac{p(z)}{p_0} \right] + \left( \frac{g}{R} \right) \int_0^z \frac{dz}{T(z)} &= 0 \end{aligned}$$

---

$$p(z) = p_0 \cdot \exp \left[ \left( \frac{g}{R} \right) \int_0^z \frac{dz}{T(z)} \right]$$

Si se supone que la temperatura de la atmósfera, sea  $T_0$ , es la misma para cualquier lugar, en ese caso se puede evaluar la integral para obtener:

$$p(z) = p_0 \cdot \exp \left[ - \left( \frac{g}{R \cdot T_0} \right) \cdot z \right] \quad (15)$$

Donde  $p_0$  es la presión atmosférica en la superficie de la Tierra,  $z = 0$ . La densidad  $\rho(z)$  puede encontrarse sin dificultad al dividir la ecuación 15 entre  $R \cdot T_0$ .

$$\rho(z) = \frac{p_0}{R \cdot T_0} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{g}{R \cdot T_0} \right) \cdot z \right] \quad (16)$$

### 3.11. La viscosidad del viento en función de la temperatura

La viscosidad del viento depende de la temperatura, Çengel y Cimbala (2006) indican esto y nos dan la correspondencia de temperatura y viscosidad como se muestra en la tabla 3.5, también que la viscosidad es independiente de la presión.

Tabla 3. 5  
 Viscosidad del viento en función de la temperatura

Propiedades del aire a 1 atm de presión							
Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico $c_p$ $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Fuente: Çengel y Cimbala (2006)

### 3.12. Ángulo de inclinación de lluvia

Ritter, Regalado & Aschan (2008) en su investigación: recolección de agua de niebla en un bosque subtropical de laurel elfino del Parque Nacional de Garajonay (Islas Canarias): un enfoque combinado utilizando dispositivos de captura de niebla artificial y un modelo de impacto físico, se muestra la siguiente metodología para determinar el ángulo de inclinación de la lluvia sobre un dosel, el cual se usa para determinar el ángulo de inclinación de la lluvia sobre el atrapanieblas.

Cuando prevalecen condiciones de viento, la precipitación real incidente al bosque puede subestimarse si se supone que es igual a las mediciones del pluviómetro (Sevruk 2005). Por lo tanto, estos se corrigieron para posible 1) lluvia inclinada que cae sobre un terreno inclinado y 2) pérdidas inducidas por el viento debido a la distorsión del campo de viento en el borde del pluviómetro. De acuerdo con Førlund et al. (1996), se calculó primero un factor de corrección ( $k_f$ ) basado en la velocidad del viento ( $u$ ) y la intensidad de la lluvia ( $R$ ) para calcular una intensidad de lluvia corregida por el viento,  $R_C$  ( $\text{mm h}^{-1}$ ) =  $k_f * R$ :

$$k_f = \exp(-0.001 \ln R - 0.0122 u \ln R + 0.0343u + 0.0077) \quad (17)$$

Para llevar a cabo la corrección debida a la lluvia inclinada incidente a una superficie inclinada, se utilizó la intensidad de lluvia corregida por el viento  $R_C$  ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para calcular el diámetro medio de la gota  $D_{50}$  (mm) (Laws and Parsons 1943):

$$D_{50} = 2.23 (0.03937 R_C)^{0.102} \quad (18)$$

La velocidad de caída terminal  $V_D$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) de las gotas de lluvia se calculó luego a partir del tamaño medio de gota de manera que (Gunn y Kinzer, 1949)

$$V_D = 3.378 \ln(D_{50}) + 4.213 \quad (19)$$

A continuación, se puede calcular el ángulo de inclinación media de lluvia  $\theta$  ( $^\circ$ ) a partir de

$$\tan\theta = u/V_D \quad (20)$$

Desde este ángulo de inclinación, un modelo trigonométrico desarrollado por Sharon (1980) da como resultado un segundo factor de corrección que se aplicará a la lluvia corregida por el viento para obtener la precipitación real incidente al dosel del bosque. (p. 924)

Se realizó la estimación del ángulo de inclinación de la lluvia para así discernir del agua de lluvia con el agua de niebla, se puede apreciar este cálculo en la tabla 3.6 y en la figura 3.21 el esquema de la lluvia inclinada sobre el atrapanieblas definiendo un área de lluvia inclinada ( $A_{in}$ ) y otra de lluvia que cae de manera directa sobre la canaleta ( $A_c$ ), que se usaran por correlación entre la sección del pluviómetros ( $A_{pl}$ ), se genera una fórmula en base a las mediciones diarias del pluviómetro ( $M_{pl}$ ) que me muestra a continuación:

$$\text{Agua de niebla}_{(diario)} = \text{Agua total captada}_{(diario)} - (A_{in} * 0.5 + A_c * 0.75)M_{pl} * 10^{-3}$$

Donde:

Agua total captada  $_{(diario)}$ : volumen total diario de agua captada en el atrapanieblas en litros (L)

Agua de niebla  $_{(diario)}$ : volumen neto de niebla diario del atrapanieblas en litros (L)

$M_{pl}$ : mediciones diarias del pluviómetro en metros (m)

$A_{in}$ : área de lluvia inclinada ( $m^2$ )

$A_c$ : área de canaleta ( $m^2$ )

El área de lluvia inclinada  $A_{in}$  es multiplicada por el 50% que es el coeficiente de sombra de la malla Raschel, y por 75% al área de la canaleta ya que la lluvia que pasa la malla se va a la canaleta siendo retenida en un 50 % la mitad de la canaleta teniéndose como final un área efectiva del 75%.

Tabla 3. 6  
*Estimación del ángulo de inclinación de lluvia*

Variables	Denotación	Valor	Unidad
Velocidad de viento	u	1.0588	m/s
Intensidad de lluvia	R	2.38	mm/hr
Coeficiente de corrección	Kf	1.032	adm

---

Intensidad de lluvia corregida	$R_c$	2.4573	mm/hr
Diámetro medio de la gota	$D_{50}$	1.76	mm
Velocidad de caída terminal	$V_D$	6.12	m/s
Tangente del ángulo de inclinación media de lluvia	$\text{Tan}(\Theta)$	0.17	adm
Ángulo de inclinación media de lluvia	$\Theta$	9.82	°
Altura del atrapanieblas	$h$	1.00	m
Sección que define el ángulo	$h*\text{Tan}(\Theta)$	0.17	m

---

Nota: la velocidad es la obtenida del promedio de datos en el periodo de evaluación, la intensidad es calculada en base a la precipitación máxima del año 2017 con métodos hidrológicos.

Elaboración propia



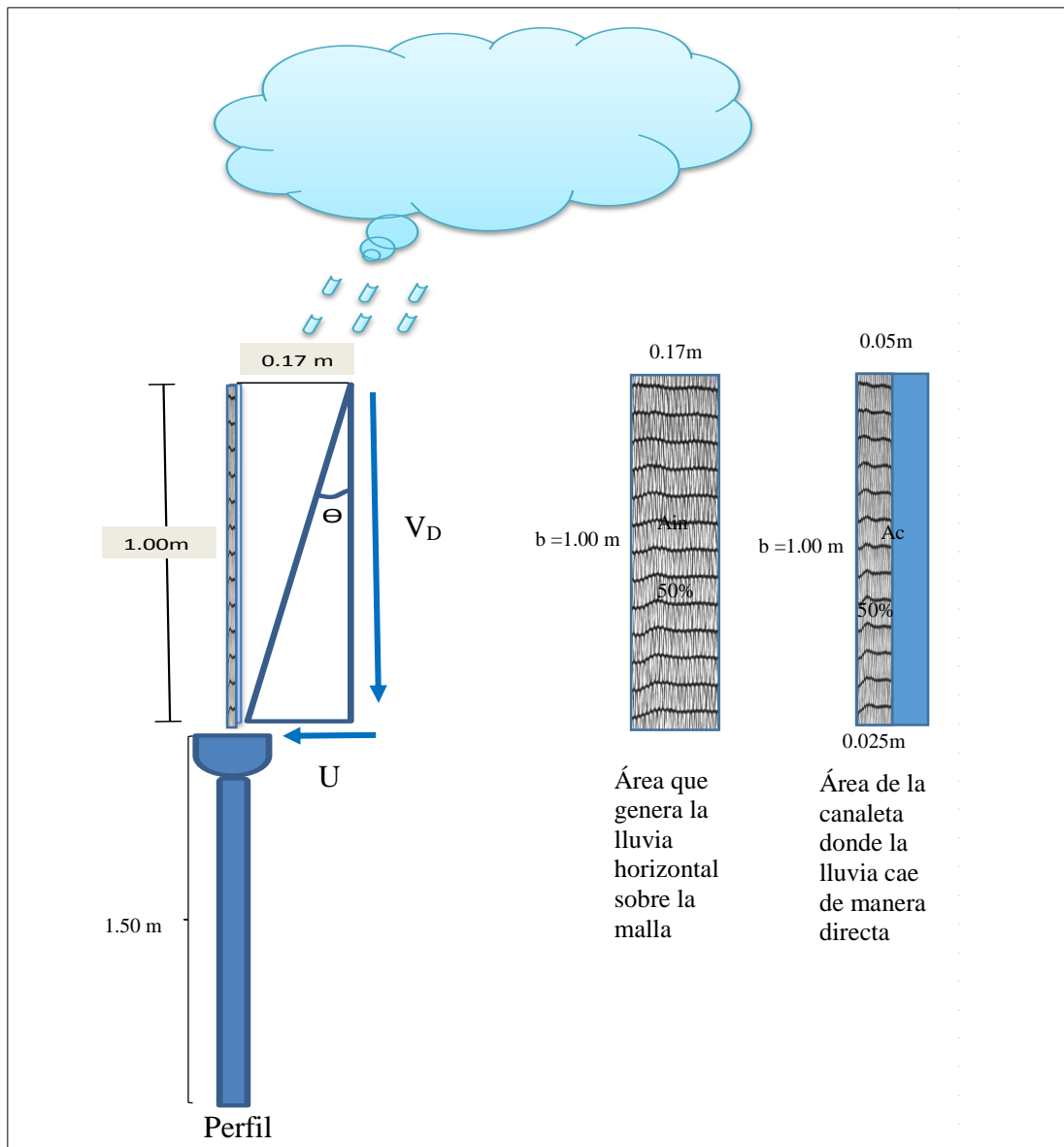


Figura 3. 21. Esquema de ángulo de inclinación de lluvia en San Pedro de Carpish

Nota: se observa el área horizontal que se genera por la lluvia horizontal sobre la malla y el área de la canaleta donde cae directamente la lluvia. Mostrándose en el gráfico que  $A_{in} = 0.17 \text{ m}^2$  y  $A_c = 0.05 \text{ m}^2$

Elaboración propia

## CAPITULO IV

### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis e interpretación de datos mensuales del SENAMHI

Los datos que se presentan se tomaron en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco, la estación meteorológica de Carpish del SENAMHI ubicada: longitud 76°05'39'', latitud 09°42'20'' y altura de 2582 msnm que proporcionó información de la temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, dirección del viento y humedad relativa del periodo de enero de 2003 a agosto de 2017 que están en el Anexo 1.

Para realizar en análisis de datos, se considera en resumen de datos anuales de la tabla 4.1 obtenidos de los promedios de los datos mensuales proporcionado por el SENAMHI.

Tabla 4. 1  
*Resumen de datos anuales del SENAMHI*

N° de datos	Año	Velocidad del viento 7:00 (m/s)	Velocidad del viento 13:00 (m/s)	Velocidad del viento 17:00 (m/s)	Humedad relativa (%)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Velocidad promedio (m/s)	Temperatura promedio (°C)
1	2003	0.90	1.8	1	92.2	10.9	18.400	1.23	14.65
2	2004	0.60	1.2	0.8	92.1	10.6	18.400	0.87	14.50
3	2005	0.80	1.5	0.8	91.5	10.9	19.100	1.03	15.00
4	2006	0.70	1.3	0.6	93.8	10.9	18.600	0.87	14.75
5	2007	0.50	1.3	0.5	94.4	10.8	18.900	0.77	14.80
6	2008	0.70	1.8	1	94.8	10.2	18.700	1.17	14.45
7	2009	0.30	1.1	0.6	93.9	10.0	18.700	0.67	14.35
8	2010	0.50	0.9	0.3	92.1	10.8	19.200	0.57	14.95
9	2011	0.40	0.6	0.2	92.9	10.5	18.500	0.40	14.50
10	2012	0.60	0.5	0.2	93.2	10.8	18.700	0.43	14.75
11	2013	0.40	0.5	0.1	92.4	10.9	19.100	0.33	15.00
12	2014	0.80	0.8	0.3	93.5	11	18.800	0.63	14.90
13	2015	0.30	0.5	0.2	92.8	10.8	19.200	0.33	15.00
14	2016	0.40	0.6	0.2	90.7	11	19.700	0.40	15.30
15	2017	0.40	0.9	0.1	91.6	11.1	18.700	0.47	14.80

Fuente: SENAMHI  
Elaboración Propia

---

#### 4.2. Análisis e interpretación de datos mensuales

Contreras (2012), deja ver la siguiente metodología para el análisis e interpretación de datos. Se realizará la prueba bondad de Kolmogorov-Smirnov.

##### **Interpretación de los resultados de la prueba de kolmogorov – Smirnov (tabla 4.2)**

Se comprueba el nivel de significación, si es menor que  $\alpha = 0,05$  la distribución no es normal, si es mayor que 0,05 la distribución es normal. En este caso:

- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de velocidad (7:00), pues el nivel de significación 0,668 es mayor que 0,05.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de velocidad (13:00), pues el nivel de significación 0,859 es mayor que 0,05.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de velocidad (19:00), pues el nivel de significación 0,435 es mayor que 0,05.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la humedad relativa, pues el nivel de significación 0,998 es mayor que 0,05.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la temperatura mínima, pues el nivel de significación 0,128 es mayor que 0,05. Con un valor promedio de 10,75°C y desviación de 0,3044 siendo un valor pequeño y el promedio es un valor representativo de la distribución de datos de temperatura media.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la temperatura máxima, pues el nivel de significación 0,514 es mayor que 0,05.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la temperatura media, pues el nivel de significación 0,962 es mayor que 0,05. Con un valor promedio de 14,

78°C y desviación de 0,2576 siendo un valor pequeño y el promedio es un valor representativo de la distribución de datos de temperatura media.

- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la velocidad media, pues el nivel de significación 0,873 es mayor que 0,05. Con un valor promedio de 0,696 m/s y desviación de 0,33021 siendo un valor pequeño y el promedio es un valor representativo de la distribución de datos de velocidad media.

Tabla 4. 2  
Prueba de Kolmogorov – Smirnov

		Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra							
		Velocidad_7	Velocidad_13	Velocidad_19	Humedad relativa	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Temperatura media	Velocidad media
N		15	15	15	15	15	15	15	15
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,5533	1,0200	,4600	92,7933	10,7467	18,8400	14,7800	,6960
	Desviación típica	,19223	,45387	,32027	1,14858	,30441	,35617	,25760	,33021
Diferencias más extremas	Absoluta	,187	,156	,225	,101	,303	,211	,130	,153
	Positiva	,187	,156	,225	,101	,136	,211	,130	,153
	Negativa	-,111	-,126	-,130	-,076	-,303	-,108	-,120	-,134
Z de Kolmogorov-Smirnov		,726	,604	,870	,390	1,173	,819	,503	,593
Sig. asintót. (bilateral)		,668	,859	,435	,998	,128	,514	,962	,873

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Fuente: programa SPSS 19.

Se puede observar que se tiene alto grado de humedad en promedio de 92,79%, viento en promedio que varía de 0,46 – 1,02 m/s, temperatura mínima en promedio de 10,75 °C, bajo estas condiciones se tienen condiciones adecuadas para la formación de la niebla y su respectiva captación.

### 4.3. Determinación de moda de velocidad de viento

La moda preferencial de viento es la calma debido a bajas intensidad de viento no mostrando una dirección preferencial, teniéndose como segunda moda de dirección del viento de norte a sur, mostrándose esto en la tabla 4.3 y en la figura 4.1.

Tabla 4. 3  
Moda de dirección del viento en Carpish

Dirección	Denotación	Moda (cantidad de meses)
Calma	C	245
Norte	N	164
Sur	S	85
Este	E	2
Oeste	W	8
Nor-Este	NE	5
Sur-Este	SE	15
Sin dato	S/D	4

Fuente: SENAMHI

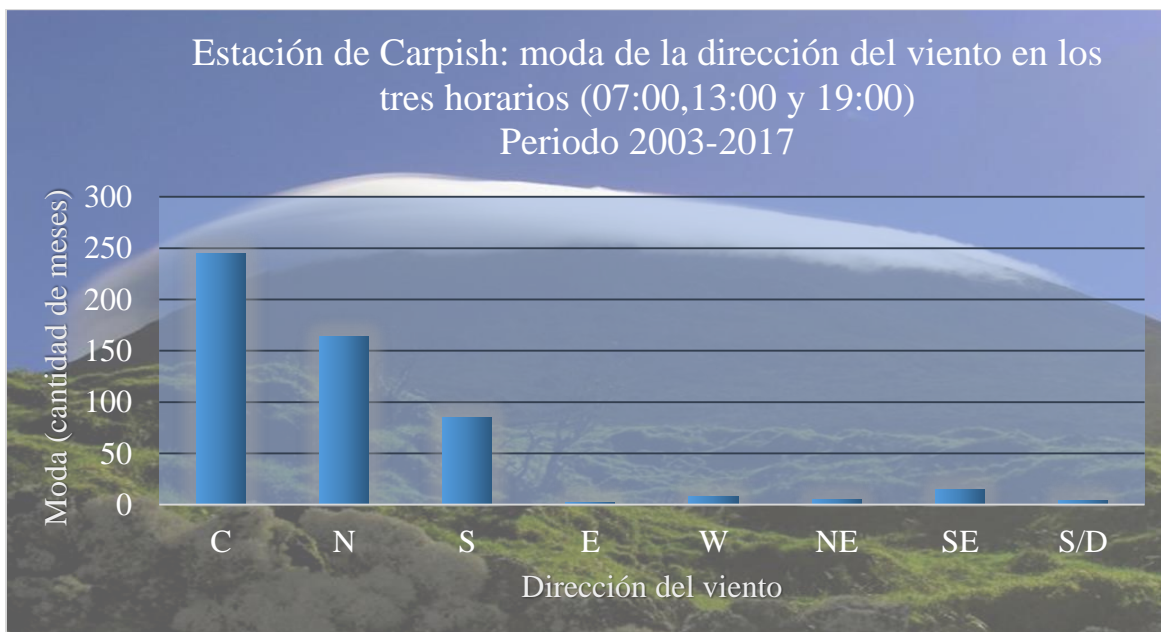


Figura 4. 1. Gráfico de la moda de la dirección del viento en los tres horarios 7:00,13:00 y 19:00

Fuente: SENAMHI

#### 4.4. Prospección cualitativa/cuantitativa parcial de condiciones ecológicas

Las condiciones ecológicas pueden variar con el paso del tiempo, en la tabla 4.4 se puede apreciar algunas variables ecológicas en la zona de estudio cuando se levantó información por la ONERN según publicación de INRENA (1994) y el momento que se realizó el trabajo de investigación (2017).

La holgura de la temperatura ha aumentado, la precipitación anual del año 2017 está dentro del intervalo cuando se realizó el estudio de la ONERN, en la zona de bosque muy húmedo – montano bajo tropical, las áreas verdes se han visto reducidas por áreas de cultivo que ha influenciado en la cantidad de humedad por ende la presencia de niebla.

Tabla 4. 4

*Variables ecológicas de cuando se levantó información la ONERN y cuando se realizó el trabajo de investigación*

Variables	Cuando se levantó información por la ONERN (1976)	Trabajo de investigación (2017)
Temperatura	12 - 17 °C	11.1 - 18.7 °C
Precipitación	2000 - 4000 mm	2049 mm
Uso de Suelo	Bosque de protección, conservación integrada de recursos naturales del país	zonas de cultivo, bosque de protección

Fuente: INRENA (1994) y SENAHMI  
Elaboración propia

En los siguientes años si la deforestación continúa, la humedad y la presencia de niebla se reducirán, la temperatura cambiará ya que los bosques la regulan, estos inciden en el volumen futuro de captura de agua de niebla, es por esto la gran importancia de la protección de los bosques y de sus recursos hídricos.

#### 4.5. Recolección de datos del SEA-01 y la estación meteorológica de Carpish en el periodo de evaluación

Los datos que se presentan en la tabla 4.5 son el registro de datos de volumen de agua de niebla que se tomaron en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco (cercana a la estación meteorológica de Carpish), con el equipo de medición arduino – sensor ultrasonido HC-SR-04 y datos climatológicos de la estación meteorológica de Carpish (figura 4.2) del SENAMHI ubicada: longitud  $76^{\circ}05'39''$ , latitud  $09^{\circ}42'20''$  y altura de 2582 msnm que proporcionó información de la temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, dirección del viento y humedad relativa en el periodo de evaluación del 05 de noviembre de 2017 a 11 de enero de 2018.



Figura 4. 2. Estación meteorológica de Carpish

Nota. Se observa los equipos de medición meteorológica de la estación, así como la presencia de la niebla.

Fuente: propia

El neblinómetro (SEA-01) véase figura 4.3, se instaló en un terreno cercano a la estación meteorológica a una altura de 2580 msnm a 1,5m del suelo en la dirección normal a la dirección predominante del viento (N-S).



Figura 4. 3. Sistema experimental de atrapanieblas (SEA-01)

Nota. Se observa el Sistema Experimental Atrapanieblas (SEA-01), así como la presencia de la niebla.

Fuente: propia

Para realizar el análisis de datos, se considera el resumen de datos (tabla 4.5)

Tabla 4. 5

*Resumen de datos*

Nº de datos	Día	Cantidad de agua captada por día (L) niebla	Tº Máxima (°C)	Tº Mínima (°C)	Velocidad (m/s)	Humedad relativa (%)
1	05-nov-17	0.37	19.2	11.2	0	0.98
2	06-nov-17	0.78	16.2	12	0	1.00
3	07-nov-17	0.24	16.4	12	0	0.99
4	08-nov-17	0.27	21	11.8	0	0.97
5	09-nov-17	0.39	16.4	12.4	14	0.99
6	10-nov-17	0.83	20	12	0	0.96
7	11-nov-17	2.30	16.4	12.6	2	0.99
8	12-nov-17	0.45	18.6	12.4	0	0.97
9	13-nov-17	1.24	17.2	12.4	0	1.00
10	14-nov-17	1.30	21.8	12.8	0	0.97
11	15-nov-17	2.08	20.2	12	0	0.98
12	16-nov-17	1.20	20.4	12.2	0	0.99
13	17-nov-17	0.98	19.2	12.4	0	1.00
14	18-nov-17	1.50	16.8	12.4	0	0.99



---

15	19-nov-17	1.30	16	12	0	0.98
16	20-nov-17	1.03	17.6	12.1	0	0.96
17	21-nov-17	1.47	20.2	12	0	0.98
18	22-nov-17	1.03	18.6	12.6	4	0.98
19	23-nov-17	2.42	17.6	13	0	0.98
20	24-nov-17	1.57	18.8	11.6	2	0.97
21	25-nov-17	1.22	21	11.4	4	0.98
22	26-nov-17	1.27	21	12.6	6	0.97
23	27-nov-17	0.89	20.8	11.6	0	0.97
24	28-nov-17	1.47	18	9.6	10	0.97
25	29-nov-17	0.82	20	11.2	0	0.96
26	30-nov-17	0.93	19.8	10.8	0	0.99
27	01-dic-17	1.54	17.6	12.8	0	1.00
28	02-dic-17	0.98	16	12.4	0	1.00
29	03-dic-17	0.90	19	10	0	0.98
30	04-dic-17	2.10	18	11.4	0	1.00
31	05-dic-17	2.21	15.2	12	0	1.00
32	06-dic-17	1.73	14.8	12.2	0	0.99
33	07-dic-17	1.12	19.8	12	0	0.97
34	08-dic-17	1.22	22.2	12.2	2	0.95
35	09-dic-17	0.84	21.8	12.6	2	0.97
36	10-dic-17	0.84	22.6	12	0	0.96
37	11-dic-17	0.86	15.8	11.8	0	0.98
38	12-dic-17	0.65	22	11.6	4	0.93
39	13-dic-17	0.50	21	11.4	0	0.95
40	14-dic-17	0.76	21	11.2	4	0.96
41	15-dic-17	0.73	16.8	11.2	0	1.00
42	16-dic-17	0.77	19.8	11.4	0	0.98
43	17-dic-17	0.49	20	11	4	0.97
44	18-dic-17	0.46	20.2	12	0	0.95
45	19-dic-17	2.06	15.4	11	6	1.00
46	20-dic-17	0.62	18	11.4	4	0.99
47	21-dic-17	0.91	17.2	12.2	0	1.00
48	22-dic-17	1.45	15	12	0	1.00
49	23-dic-17	2.23	16.2	12.2	0	1.00
50	24-dic-17	0.63	17.6	11.8	0	0.99
51	25-dic-17	1.97	16.4	12.4	0	0.99
52	26-dic-17	2.52	16.4	11.2	0	1.00
53	27-dic-17	2.64	15.8	11.4	0	0.99
54	28-dic-17	0.56	19.8	11.4	0	0.99
55	29-dic-17	0.65	20	10.4	4	1.00
56	30-dic-17	0.82	16	12	0	0.98
57	31-dic-17	0.93	16	11.4	0	1.00

---

58	01-ene-18	0.94	15.8	11	0	1.00
59	02-ene-18	0.31	14	11.2	0	1.00
60	03-ene-18	0.65	17.8	10.8	0	0.99
61	04-ene-18	0.65	17.8	11.6	0	0.99
62	05-ene-18	0.85	15.8	11	0	0.97
63	06-ene-18	0.95	16.8	10.8	0	0.99
64	07-ene-18	1.74	17	10.6	0	1.00
65	08-ene-18	0.87	18	10.4	0	0.98
66	09-ene-18	0.77	15.6	10.8	0	0.98
67	10-ene-18	0.78	17.4	10.2	0	0.95
68	11-ene-18	0.74	15.6	11	0	1.00

Nota: el agua que se tiene es netamente de niebla, se ha restado el agua de la lluvia, esto convirtiendo los datos de precipitación diaria.

Fuente: SENAMHI y datos obtenidos del arduino

Elaboración propia

#### 4.6. Análisis e interpretación de datos en el periodo de evaluación

Contreras (2012) en su informe final: diseño, construcción y evaluación de un prototipo mejorado de atrapanieblas en el distrito de Ventanilla – Callao, deja ver la siguiente metodología para el análisis e interpretación de datos:

Se determinará si el conjunto de datos provienen o no de una distribución normal. Para ello se usa el método de prueba no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para una muestra que no requiere organizar los datos por intervalos y el método gráfico P-P (percentil-percentil) normal.

En general la prueba de Kolmogorov - Smirnov se utiliza para probar que una muestra de datos se ajusta a una distribución particular teórica (uniforme, binomial, poisson, geométrica, normal, exponencial, etc.).

El procedimiento para determinar si es normal la población de la que ha sido extraída la muestra aleatoria simple utilizando el nivel significancia  $\alpha$  es el siguiente:

1. Se ordenan los “n” datos y se obtiene la distribución de frecuencia acumulativa relativa  $S_n(x_i)$ . Las proporciones acumuladas están dadas por  $S_n(x_i) = k/n$ , donde  $k$  es el número de observaciones menor o igual que  $x_i$ .

2. Se obtienen las proporciones o probabilidades teóricas  $F_i = P[X = x_i]$  de la distribución normal a partir de los datos tipificados:  $Z_i = (x_i - \bar{x})/s$ .

3. Si los datos provienen de una distribución normal, entonces, los puntos P-P proporciones acumuladas empíricas (eje horizontal) y teóricas (eje vertical), deben estar aproximadamente en la recta de la diagonal principal. Esta es la gráfica P-P normal.

#### **4.6.1. El método de Kolmogorov - Smirnov**

Es un procedimiento no paramétrico que se utiliza para comprobar la hipótesis nula de que la muestra procede de una población en la que la variable está distribuida según la normal (uniforme o Poisson). Para tomar la decisión se debe llegar a calcular la máxima desviación:

$$D = \max |F_o(x_i) - S_n(x_i)|$$

En la tabla 4.6 de Kolmogorov- Smirnov se encuentran ciertos valores críticos de la distribución muestral de  $D$  para diversos valores de  $n$  y  $\alpha$ . Se rechazará que los datos provienen de una distribución normal si el valor de  $D$  es mayor que el valor crítico correspondiente.

En lo que sigue se muestra los resultados obtenidos con el software SPSS19 del resumen de datos registrados (tabla 4.5).

#### **Interpretación de los resultados de la prueba de Kolmogorov - Smirnov (tabla 4.6.)**

Se comprueba el nivel de significación, si es menor que  $\alpha = 0.05$  la distribución no es normal, si es mayor que 0.05 la distribución es normal. En este caso:

- Se afirma que no es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la cosecha de agua, pues el nivel de significación 0,020 es menor que 0,05.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la temperatura máxima, pues el nivel de significación 0,324 es mayor que 0,05. Se tiene una media de 18,15 y una desviación de 2,1692 por lo tanto el promedio es un valor representativo.
- Se afirma que es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la temperatura mínima, pues el nivel de significación 0,080 es mayor que 0,05. Se tiene una media de 11,6544 y una desviación de 0,22533 por lo tanto el promedio es un valor representativo.
- Se afirma que no es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la humedad relativa, pues el nivel de significación 0,042 es menor que 0,05.
- Se afirma que no es normal la población de la cual se ha obtenido la muestra de la velocidad del viento, pues el nivel de significación 0,000 es menor que 0,05. Se tiene una media de 1,0588 y una desviación de 2,5030 por lo tanto el promedio es un valor representativo.

Tabla 4. 6  
*Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra*

		Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra				
		Agua_Nie bla	Temp_Má xima	Temp_Míni ma	Humedad_ relativa	Velocid ad
N		68	68	68	68	68
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	1,1337	18,1500	11,6544	,9774	1,0588
	Desviación típica	,63161	2,16192	,72533	,01599	2,50303
Diferencias más extremas	Absoluta	,184	,116	,154	,169	,443
	Positiva	,184	,114	,064	,112	,443
	Negativa	-,079	-,116	-,154	-,169	-,336
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,520	,953	1,268	1,391	3,655
Sig. asintót. (bilateral)		,020	,324	,080	,042	,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Fuente: programa SPSS 19

#### 4.6.2. Correlación

Cuando se analizan un conjunto de datos, uno de los objetivos es conocer las relaciones que existen entre las variables, esto es, obtener una medida de la dependencia o medida de la relación entre esas variables.

Se estudia algunos índices estadísticos que permitan cuantificar el grado de asociación existente entre dos variables.

#### 4.6.3. Correlación Bivariada

El procedimiento correlaciones bivariada se calcula el coeficiente de correlación de Pearson, la rho de Spearman y la Tau-b de Kendall con sus niveles de significación. Solo se considerará la correlación de rho Spearman, ya que los datos no satisfacen la condición de normalidad.

#### 4.6.4. Cuantificación de la Correlación

El coeficiente de rho Spearman es una versión no paramétrica del coeficiente de correlación de Pearson, que se basa en los rangos de los datos en lugar de hacerlo en los valores reales.

Resulta apropiada para datos ordinales, o los de intervalo que no satisfagan el supuesto de normalidad. Los valores del coeficiente van de -1 a +1. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación y el valor absoluto del coeficiente de correlación indica la fuerza de la relación entre las variables. Los valores absolutos mayores indican que la relación es mayor. (Escuela superior de informática, s.f.)

### **Interpretación de los resultados de la tabla de correlaciones (tabla 4.7)**

- La matriz es simétrica y los valores de la diagonal igual a 1, puesto que corresponden a la correlación de cada variable consigo mismo.
- El primer valor de cada celda indica el coeficiente de correlación de rho Spearman ( $r$ ) entre cada par de variables (pueden oscilar entre -1 y 1).
- El segundo valor indica el grado de significación de cada coeficiente y que se basa en la prueba de que en la población la relación entre las dos variables sea cero (El valor de coeficiente o índice de correlación muestral,  $r$  está sujeto a variaciones muestrales. Es decir, el valor positivo o negativo de  $r$ , no implica necesariamente que el correspondiente valor del parámetro  $\rho$  sea positivo o negativo. Aún más, el valor de  $r = 0$ , no implica necesariamente que el valor de  $\rho = 0$ ).
- El tercer valor de cada celda de la matriz hace referencia a los datos que intervienen en el cálculo de la relación entre cada par de variables. En la matriz son siempre 68, ya que para todas las variables se posee información de 68 datos.
- El coeficiente de correlación entre cantidad de agua del atrapanieblas y temperatura máxima es  $r = -0,218$  y  $p = 0,075 (> 0,05)$ , este resultado permite aceptar la hipótesis nula e indica que no existe correlación entre las dos variables analizadas.

- El coeficiente de correlación entre cantidad de agua del atrapanieblas y temperatura mínima es  $r = 0,285$  y  $p = 0,018 (< 0,05)$ , este resultado permite rechazar la hipótesis nula e indica que existe correlación entre las dos variables analizadas.
- El coeficiente de correlación entre cantidad agua del atrapanieblas y la humedad relativa es  $r = 0,174$  y  $p = 0,157 (> 0,05)$ , este resultado permite aceptar la hipótesis nula e indica que no existe correlación entre las dos variables analizadas.
- El coeficiente de correlación entre cantidad agua del atrapanieblas y velocidad del viento es  $r = -0,008$  y  $p = 0,947 (> 0,05)$ , este resultado permite aceptar la hipótesis nula e indica que no existe correlación entre las dos variables analizadas.

Tabla 4. 7  
Grado de correlación entre las variables

			Correlaciones				
			Agua_ niebla	Temp_má xima	Temp_mí nima	Humedad _relativa	Velocid ad
Rho de Spearman	Agua	Coeficiente de correlación	1,000	-,218	,285*	,174	-,008
	niebla	Sig. (bilateral)	.	,075	,018	,157	,947
		N	68	68	68	68	68
Temper atura máxima	Temper	Coeficiente de correlación	-,218	1,000	,090	-,673**	,281*
	atura	Sig. (bilateral)	,075	.	,463	,000	,020
	máxima	N	68	68	68	68	68
Temper atura mínima	Temper	Coeficiente de correlación	,285*	,090	1,000	-,048	-,002
	atura	Sig. (bilateral)	,018	,463	.	,700	,985
	mínima	N	68	68	68	68	68
Humed ad relativa	Humed	Coeficiente de correlación	,174	-,673**	-,048	1,000	-,232
	ad	Sig. (bilateral)	,157	,000	,700	.	,057
	relativa	N	68	68	68	68	68
Velocid ad	Velocid	Coeficiente de correlación	-,008	,281*	-,002	-,232	1,000
	ad	Sig. (bilateral)	,947	,020	,985	,057	.
		N	68	68	68	68	68

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\*\*. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: programa SPSS 19

#### 4.6.5. Análisis de Regresión

El análisis de regresión es una técnica estadística que estudia las variaciones de una variable cuantitativa continua en función de una o más variables cuantitativas continuas.

La variable cuya variabilidad se quiere estudiar es la variable dependiente o respuesta, y las variables en función de las cuales varía son las variables independientes, también llamadas variables predictores.

El objetivo del análisis de regresión es predecir los valores de la variable respuesta, en función de los valores de las variables independientes.



#### 4.6.6. Tipos de análisis de regresión

Los análisis de regresión pueden ser de varios tipos, según el número de variables independientes y de la función:

1. Regresión lineal simple cuando el número de variables independientes es una.
2. Regresión lineal múltiple cuando el número de variables independientes es más de uno

En el trabajo de investigación se realizará una regresión múltiple ya que se tiene varias variables.

#### 4.6.7. Regresión lineal múltiple

El análisis estadístico permite utilizar más de una variable independiente y, por tanto, permite ajustar modelos de regresión lineal múltiple.

Pero un análisis de regresión múltiple la ecuación de regresión ya no define una recta en un plano, sino un hiperplano en un espacio multidimensional. La regresión lineal múltiple es una extensión del modelo simple al que se incorporan dos o más variables independientes:  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , que se relacionan con una variable dependiente  $Y$  mediante el modelo estadístico:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + e$$

donde:

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ : son los parámetros desconocidos.

$e$ : el término error, es una variable aleatoria que se supone tiene distribución normal con media=0 y varianza constante=  $\sigma^2$ .

Los coeficientes de regresión  $\beta_i$  de  $X_i$  indican el cambio promedio de  $Y$  correspondiente a un incremento unitario  $X_i$  cuando las demás  $X$  permanecen constantes.

El modelo estadístico en función de la muestra de variables aleatorias es:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip} + e_i, i = 1, 2, \dots, n$$

donde:

$X_{pi}$ : es la puntuación de un sujeto  $i$  en la variable independiente  $p$ .

$\beta$ : son los parámetros desconocidos.

$e_i$ : son los errores, de media  $=0$  y varianza constante  $= \sigma^2$ .

#### 4.6.8. Estimación del modelo de regresión

El primer objetivo del estudio de la regresión es estimar el modelo de regresión (o ecuación de regresión poblacional)

$$\mu_Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

La estimación del modelo de la regresión denominado también ecuación de regresión muestral es:

$$\hat{Y} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_p X_p$$

donde,

$\hat{Y}$ : es la estimación de  $\mu_Y$  (o de  $Y$  en el modelo estadístico),

$B_0, B_1, \dots, B_p$ : son las estimaciones de los parámetros  $\beta_j = 0, 1, 2, \dots, p$ .

Los coeficientes de regresión muestral  $B_0, B_1, \dots, B_p$  se calculan aplicando el método de mínimos cuadrados a los datos de una muestra aleatoria (ver anexo A2.1).

#### 4.6.9. Ecuación de regresión

La tabla 4.8 contiene en la columna encabezada coeficientes no estandarizados se encuentran los coeficientes (Bp) que forman parte de la ecuación de regresión lineal múltiple:

$$Y^{\wedge} = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4$$

Tabla 4. 8  
*Coeficientes de la ecuación de regresión*

Coeficientes <sup>a</sup>						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-2,776	7,016		-,396	,694
	Temp_máxima	-,064	,048	-,218	-1,330	,188
	Temp_mínima	,198	,104	,227	1,897	,062
	Humedad_relativa	2,823	6,485	,071	,435	,665
	Velocidad	,006	,030	,022	,186	,853

a. Variable dependiente: agua\_Niebla  
Fuente: programa SPSS 19

Donde:

- $B_0 = -2,776$  es el valor del termino independiente.
- $B_1 = -0,064$  es el coeficiente de regresión múltiple correspondiente a la variable temperatura máxima.
- $B_2 = 0,198$  es el coeficiente de regresión múltiple correspondiente a la variable temperatura mínima.
- $B_3 = 2,823$  es el coeficiente de regresión múltiple correspondiente a la variable Humedad Relativa.
- $B_4 = 0,006$  es el coeficiente de regresión múltiple correspondiente a la variable Velocidad.

---

Los coeficientes de regresión múltiple (B1, B2, B3 y B4) se denominan coeficientes de regresión parcial y son distintos de cero, y contribuyen a la ecuación de regresión significativamente.

La ecuación estimada de regresión múltiple es:

$$\hat{Y} = -2,776 - 0,064X_1 + 0,198X_2 - 2,823X_3 - 0,006X_4$$

Donde:

$\hat{Y}$ : cantidad de agua atrapanieblas.

X1: temperatura máxima

X2: temperatura mínima

X3: humedad relativa

X4: velocidad del viento

#### **4.6.10. Coeficiente de regresión estandarizada (beta)**

Los coeficientes beta (ver anexo A2.2) indican la cantidad de cambio que se producirá en la variable dependiente por cada cambio de una unidad en la correspondiente variable independiente (manteniendo constante el resto de variables independientes).

Estos coeficientes proporcionan información útil sobre la importancia relativa de cada variable independiente en la ecuación de regresión. En general, una variable tiene tanto más peso (importancia) en la ecuación de regresión cuanto mayor (en valor absoluto) es su coeficiente de regresión estandarizado.

La estimación estandarizada del modelo de regresión es:

$$\hat{ZY} = -0,218 ZX1 + 0,227 ZX2 + 0,071 ZX3 + 0,022 ZX4$$

Observando los coeficientes Beta se puede comprobar que la variable temperatura mínima es la más importante, presenta (0,227) en la ecuación, seguido de la temperatura máxima que presenta (| -0,218 |), seguida de la humedad relativa (0,071) y seguida de la velocidad del viento (0,022).

#### 4.6.11. Bondad de ajuste

Observando la Tabla 4.9 se tiene:

Tabla 4.9  
*Resumen del modelo*

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.339	.115	.059	.61276

a. Variables predictoras: (constante), velocidad, temperatura mínima, humedad relativa, temperatura máxima

Fuente: Programa SPSS 19

El coeficiente de determinación  $R^2 = 0,115$  (ver apéndice A2.3) indica que aproximadamente el 11,5 % de la variabilidad de la cosecha de agua queda estadísticamente explicada por su relación lineal con la temperatura máxima, la temperatura mínima, humedad relativa y velocidad del viento.

El coeficiente de determinación  $R^2$  tiene el defecto de crecer con el número de variables independientes del modelo de regresión. Para corregir este sesgo se aplica el coeficiente o índice de determinación múltiple corregido (ajustado) que se denota por  $R^2_A$  (ver anexo A2.4). En nuestro caso, el  $R^2_A$  corregido = 0,059 indica que el 5,9 % de las variaciones observadas en la

---

variable dependiente (cantidad de agua atrapanieblas propuesto) se explican por las variables: temperatura máxima, la temperatura mínima, humedad relativa y velocidad del viento.

Error tipo de la estimación = 0,61276 se obtiene sacando la raíz cuadrada de la media cuadrática residual del ANOVA.

#### **4.6.12. Evaluación del modelo de regresión**

Una vez obtenida la estimación del modelo de regresión lineal múltiple, se debe analizar la idoneidad o validez del modelo. Es decir, se debe analizar si el modelo estimado es el adecuado para ser utilizado en las predicciones de los valores de la variable dependiente Y (cosecha de agua).

#### **4.6.13. Prueba de hipótesis global de los coeficientes de regresión**

Para determinar si existe o no regresión lineal real de la variable dependiente Y con todas las variables independientes en conjunto se aplica el método de análisis de varianza (ANOVA). Este método es conocido como el análisis global de significación de los coeficientes de la estimación del modelo de regresión lineal múltiple.

La prueba está basada en un estadístico que tiene una distribución F particular cuando H<sub>0</sub> es verdadera.

El método de análisis global prueba la hipótesis nula,

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots, \beta_p = 0,$$

contra,

Hipótesis alternativa H<sub>1</sub>: al menos una de las  $\beta_i$  es distinto de cero.

Valor estadístico de prueba:  $F_{cal} = MCR / MCE$

Región de rechazo para una prueba de nivel  $\alpha$ :  $F_{cal} > F_{1-\alpha, p, n-p-1}$

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadráticas	Estadístico F
Regresión	SCR	p	MCR = SCR/p	Fcal = MCR/MCE
Lineal	SCE	n-p-1	MCE = SCE/(n-p-1)	
Total	SCT	n-1		

De los datos que se tiene se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 4. 10  
ANOVA

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	3,073	4	,768	2,046	,099 <sup>a</sup>
Residual	23,655	63	,375		
Total	26,728	67			

a. Variables predictoras: (constante), velocidad, temperatura mínima, humedad relativa, temperatura máxima

b. Variable dependiente: agua niebla

Fuente: programa SPSS 19

El ANOVA (tabla 4.10) muestra la F observada = 2,046 y la (Sig) p = 0,099(> 0,05) esto indica que no existe significación estadística entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes juntas (esto es, se acepta H<sub>0</sub>); por tanto se puede mencionar que ninguno de los coeficientes de regresión múltiple es distinto de cero y que el hiperplano definido por la ecuación de regresión no ofrece un buen ajuste a la nube de puntos.

Si los niveles críticos (Sig.) son muy pequeños (generalmente < 0,05) se deben rechazar la hipótesis nula.

Pero observando la tabla 4.8 el nivel crítico asociado a cada prueba de t, puede verse que las variables independientes utilizadas no poseen coeficientes significativamente distintos de cero,

---

considerando  $\alpha = 0,05$  (en todos ellos, sig. = 0,694; 0,188; 0,062; 0,665 y 0,853 son  $> 0,05$ ).

Las variables independientes, por tanto, no contribuyen de forma significativa al ajuste del modelo.

#### **4.7. Proyección de cantidad de agua de la niebla**

Como se mencionó en el capítulo II, el periodo de diseño es de 10 años, también que la temperatura mínima tiene gran incidencia en las variables de formación de la niebla, así que en base a esta variable se proyectará la cantidad de agua captada los próximos 10 años.

En el manual de hidrología, hidráulica y drenaje se indica que para que se tenga una confiabilidad en la representatividad, calidad, extensión y consistencia de los datos es primordial para el inicio del estudio hidrológico, por ello, se recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro que permita a partir de esta información histórica la predicción de eventos futuros con el objetivo que los resultados sean confiables. En esta tesis se tiene datos de 15 años, ahora se verifica la confiabilidad de esta información realizando un análisis de consistencia de la información disponible, mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionados por la intervención de la mano del hombre.

##### **4.7.1. Análisis de consistencia de datos**

Se realiza el análisis de consistencia para validar la confiabilidad de los datos de temperatura mínima (figura 4.4).



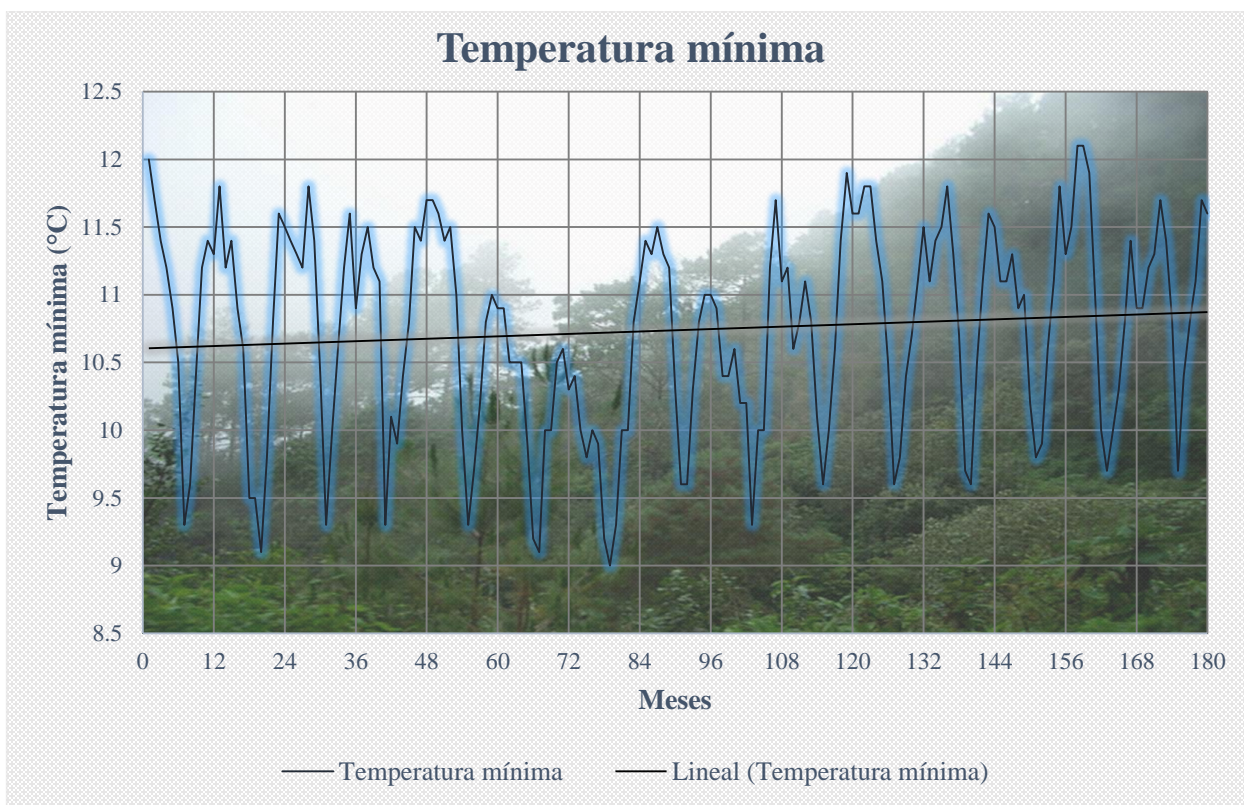


Figura 4. 4. Gráfico histórico mensual de la temperatura mínima del año 2003 al 2017

Fuente: SENAMHI

Elaboración propia

Al realizar el análisis visual la información se observa que no hay saltos y que se tiene un comportamiento homogéneo a los largo de los 15 años, además que se tiene una tendencia lineal creciente, se deduce que la información es aceptable.

#### 4.7.2. Compleción y extensión de datos

Se procede a completar datos y extenderlos con el programa HEC – 4 (U.S Corps of Engineers) que se muestra en la figura 4.5. El HEC – 4 (ONERN, 1980), es un método para la extensión y reconstitución de registros (pluviométricos o hidrométricos), desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU de NA, denominado “Simulación de Descargas Mensuales (HEC – 4), que se realiza tomando en cuenta el grado de correlación existente entre los valores.

AÑO	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO	ABR IL	MA YO	JUN IO	JUL IO	AGOS TO	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIE MBRE
1996	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
1997	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
1998	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
1999	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
2000	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
2001	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
2002	120.0	117.0	114.0	112.0	109.0	105.0	93.0	96.0	104.0	112.0	114.0	113.0
2003	118.0	112.0	114.0	109.0	106.0	95.0	95.0	91.0	98.0	108.0	116.0	115.0
2004	114.0	113.0	112.0	118.0	114.0	104.0	93.0	100.0	106.0	112.0	116.0	109.0
2005	113.0	115.0	112.0	111.0	93.0	101.0	99.0	104.0	108.0	115.0	114.0	117.0
2006	117.0	116.0	114.0	115.0	110.0	100.0	93.0	97.0	102.0	108.0	110.0	109.0
2007	109.0	105.0	105.0	105.0	99.0	92.0	91.0	100.0	100.0	105.0	106.0	103.0
2008	104.0	100.0	98.0	100.0	99.0	92.0	90.0	93.0	100.0	100.0	108.0	111.0
2009	114.0	113.0	115.0	-1.0	112.0	103.0	96.0	96.0	103.0	108.0	110.0	110.0
2010	109.0	104.0	104.0	106.0	102.0	102.0	93.0	100.0	100.0	112.0	117.0	111.0
2011	112.0	106.0	108.0	111.0	108.0	101.0	96.0	100.0	106.0	114.0	119.0	116.0
2012	116.0	118.0	118.0	114.0	111.0	105.0	96.0	98.0	104.0	107.0	111.0	115.0
2013	111.0	114.0	115.0	118.0	113.0	107.0	97.0	96.0	105.0	111.0	116.0	115.0
2014	111.0	111.0	113.0	109.0	110.0	102.0	98.0	99.0	106.0	111.0	118.0	113.0
2015	-1.0	121.0	121.0	119.0	110.0	100.0	97.0	100.0	103.0	108.0	114.0	109.0
2016	109.0	112.0	113.0	117.0	114.0	108.0	97.0	104.0	-1.0	-1.0	117.0	116.0

Figura 4. 5. Compleción y extensión de datos de temperatura mínima con HEC - 4

Fuente: HEC - 4

Elaboración propia

Estos datos se extendieron 10 años hacia atrás (tabla 4.11) para realizar la proyección en el periodo de diseño mencionado en el capítulo II.

Tabla 4. 11

Compleción y extensión de datos con HEC - 4

AÑO	ENE RO	FEBRE RO	MAR ZO	ABR IL	MA YO	JUN IO	JUL IO	AGOS TO	SEPTIEM BRE	OCTU BRE	NOVIEM BRE	DICIE MBRE
1993	11.3	11.2	11.2	11	10.9	10.1	9.6	9.9	10.5	11.3	11.6	11.2
1994	11.4	11.3	11.1	11.1	10.6	10.4	9.7	10	10.4	11.2	11.5	11.1
1995	11.3	11.2	11.2	11	10.3	9.8	9.7	9.9	10.2	10.9	11.4	11.1
1996	11.2	11.2	11.1	11.2	10.5	10	9.6	9.7	10.2	10.9	11.5	11.1
1997	11.3	11.2	11.1	11.2	10.9	10.3	9.5	9.8	10.1	10.9	11.2	10.9
1998	11.3	11.3	11.3	11	10.5	10	9.6	10	10.4	10.8	11.4	11
1999	10.9	10.9	11	11	10.2	9.8	9.7	9.9	10.4	11	11.3	11.5
2000	11.6	11.5	11.5	11.1	10.7	10	9.5	10.2	10.6	10.9	11.2	10.8
2001	11	11	11.3	11.2	10.8	10.4	9.3	9.5	10.2	10.9	11.6	11.1
2002	11.2	11	11.1	11.3	10.8	9.9	9.6	9.7	10.2	11	11.3	10.9
2003	12	11.7	11.4	11.2	10.9	10.5	9.3	9.6	10.4	11.2	11.4	11.3
2004	11.8	11.2	11.4	10.9	10.6	9.5	9.5	9.1	9.8	10.8	11.6	11.5
2005	11.4	11.3	11.2	11.8	11.4	10.4	9.3	10	10.6	11.2	11.6	10.9
2006	11.3	11.5	11.2	11.1	9.3	10.1	9.9	10.4	10.8	11.5	11.4	11.7
2007	11.7	11.6	11.4	11.5	11	10	9.3	9.7	10.2	10.8	11	10.9
2008	10.9	10.5	10.5	10.5	9.9	9.2	9.1	10	10.0	10.5	10.6	10.3
2009	10.4	10	9.8	10	9.9	9.2	9.0	9.3	10.0	10	10.8	11.1

<b>2010</b>	11.4	11.3	11.5	11.3	11.2	10.3	9.6	9.6	10.3	10.8	11	11
<b>2011</b>	10.9	10.4	10.4	10.6	10.2	10.2	9.3	10	10.0	11.2	11.7	11.1
<b>2012</b>	11.2	10.6	10.8	11.1	10.8	10.1	9.6	10	10.6	11.4	11.9	11.6
<b>2013</b>	11.6	11.8	11.8	11.4	11.1	10.5	9.6	9.8	10.4	10.7	11.1	11.5
<b>2014</b>	11.1	11.4	11.5	11.8	11.3	10.7	9.7	9.6	10.5	11.1	11.6	11.5
<b>2015</b>	11.1	11.1	11.3	10.9	11	10.2	9.8	9.9	10.6	11.1	11.8	11.3
<b>2016</b>	11.5	12.1	12.1	11.9	11	10	9.7	10	10.3	10.8	11.4	10.9
<b>2017</b>	10.9	11.2	11.3	11.7	11.4	10.8	9.7	10.4	10.8	11.1	11.7	11.6
<b>2018</b>	11.7	11.5	11.4	11.2	10.7	10.2	9.6	9.9	10.2	10.7	11.1	11

Fuente: SENAMHI y HEC - 4  
Elaboración propia

#### 4.7.3. Validación de datos obtenidos del HEC 4 y datos de los meses del 2018 del

##### SENAMHI

Se obtuvieron datos de los meses de enero a agosto de 2018 para compararlo con los datos de extensión del HEC - 4, que se muestra en la tabla 4.12, teniéndose un porcentaje promedio de 100, 57% de aproximación con los valores del SENAMHI, con lo que se concluye que el análisis de extensión de datos con el HEC - 4, es confiable.

Tabla 4. 12

*Comparación de datos de extensión del programa HEC 4 y datos del SENAMHI del 2018*

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROM
SENAMHI	11	11.5	11.4	11.2	10.9	9.8	9.9	10	10.713
2018 ( HEC 4)	11.7	11.5	11.4	11.2	10.7	10.2	9.6	9.9	10.775
Comparación porcentual	106.4%	100.0%	100.0%	100.0%	98.2%	104.1%	97.0%	99.0%	100.57%
Variación con respecto a 100%	6.4%	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%	4.1%	3.0%	1.0%	2.04%

Fuente: SENAMHI y HEC 4  
Elaboración propia

#### 4.7.4. Proyección mensual de agua de niebla

Se realiza un ensayo teórico cuantitativo de la proyección del agua de la niebla de los meses de noviembre y diciembre de 2017 para los otros meses del mismo año en base a la temperatura mínima, en primer lugar se completa los datos mensuales de agua captada de la niebla en el año

2017, se genera una fórmula lineal por el método de mínimos cuadrados (figura 4.6) con los datos de agua de niebla (L) y temperatura mínima de los meses de noviembre y diciembre. Se muestra la fórmula a continuación:

$$\text{Agua de niebla – mensual (2017)} = -28,356 * T^{\circ} \text{ mínima (mensual)} + 365,63$$

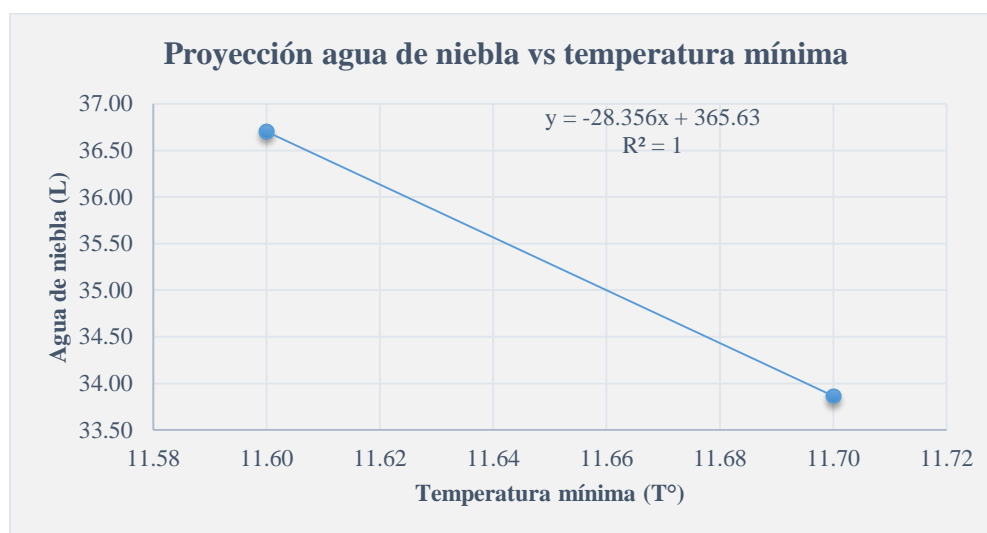


Figura 4. 6. Método de mínimos cuadrados para completar datos mensuales  
Elaboración propia

Usando esta fórmula de proyección retrospectiva de los meses del año 2017, se calcula el agua de niebla en los otros meses como se muestra en la tabla 4.13.

Tabla 4. 13

*Resumen da datos de agua de niebla mensuales del año 2017*

N° de datos	Mensual del año 2017	Agua de niebla (L)	Temperatura mínima (°C)
1	Enero	56.55	10.9
2	Febrero	48.04	11.2
3	Marzo	45.21	11.3
4	Abril	33.86	11.7
5	Mayo	42.37	11.4
6	Junio	59.39	10.8
7	Julio	90.58	9.7
8	Agosto	70.73	10.4

---

9	Septiembre	70.10	10.8
10	Octubre	52.03	11.1
11	Noviembre	33.87	11.7
12	Diciembre	36.70	11.6
TOTAL		627.56	Promedio =11.10

---

Fuente: SENAMHI y Datos del Arduino  
Elaboración Propia

Esta proyección es una tentativa de relacionar la cantidad de agua de la niebla con la temperatura mínima, pero teniéndose claro que no es la única variable que influye tal como se mencionó en el ítem 3.7 del capítulo III, y que estas otras también influyen, que necesitan ser estudiadas más a fondo y que son motivo de línea de investigación futura.

#### **4.7.5. Proyección anual de agua de niebla**

Se realiza un análisis de los datos completados y extendidos con el programa Hidroesta 2 para saber que tipo distribución (figura 4.7 y 4.8) se ajuste mejor, para realizar la proyección de temperatura mínima con el programa HyFranPlus.

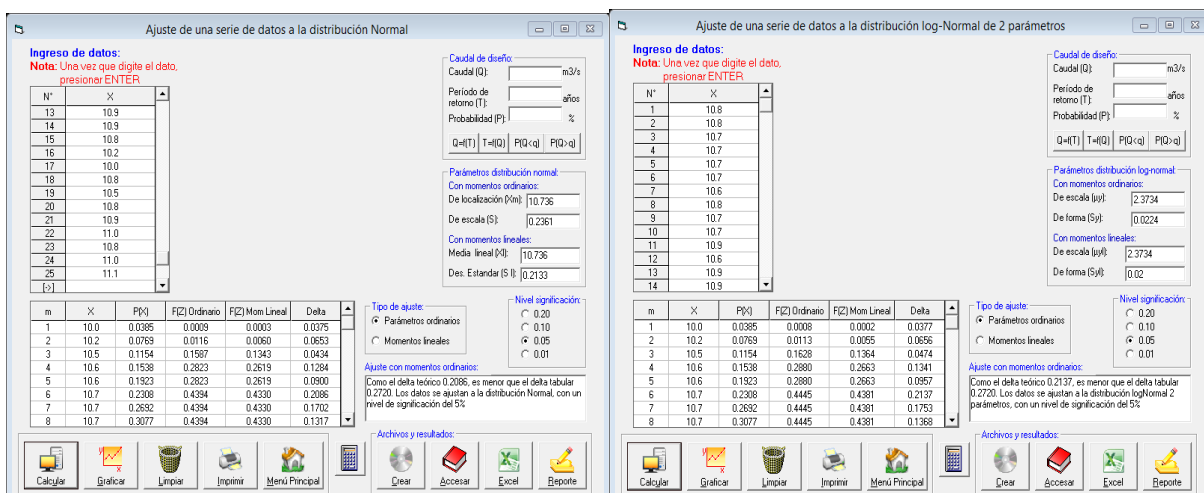


Figura 4. 7. Ajuste de una serie de datos a la distribución normal y log-normal de 2 parámetros  
Fuente: Hidroesta 2

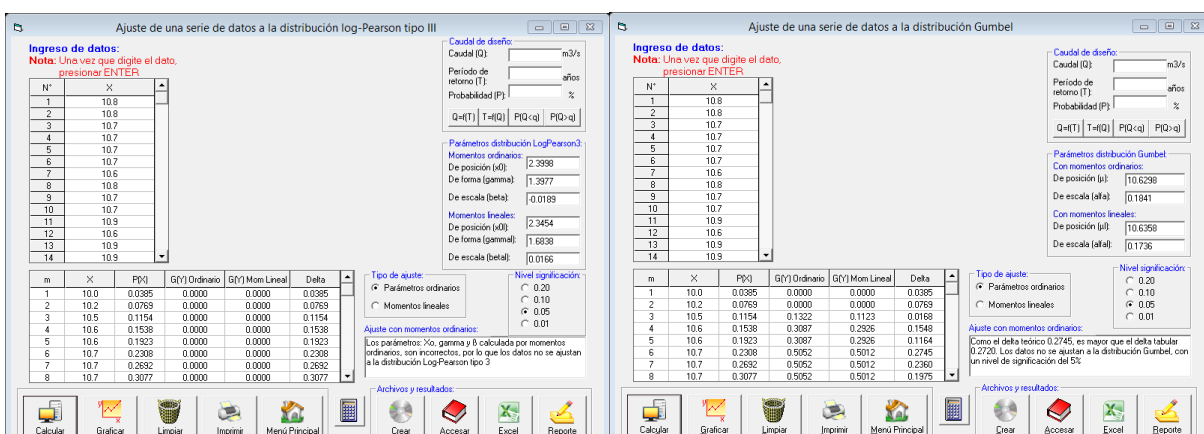


Figura 4. 8. Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Pearson tipo III y Gumbel  
Fuente: Hidroesta 2

Como el delta teórico de la distribución normal es menor que todas los deltas teóricos de las otras distribuciones, entonces los datos se ajustan mejor a la distribución normal.

Se muestra a continuación en la figura 4.9 el gráfico de los datos de años vs temperatura mínima proporcionado por el programa HyFranPlus, se definió que la mejor distribución para la serie de datos es la distribución normal, así que se realiza la proyección con en el programa HyFranPlus (figura 4.10) para el periodo de diseño de 10 años con este tipo de distribución.

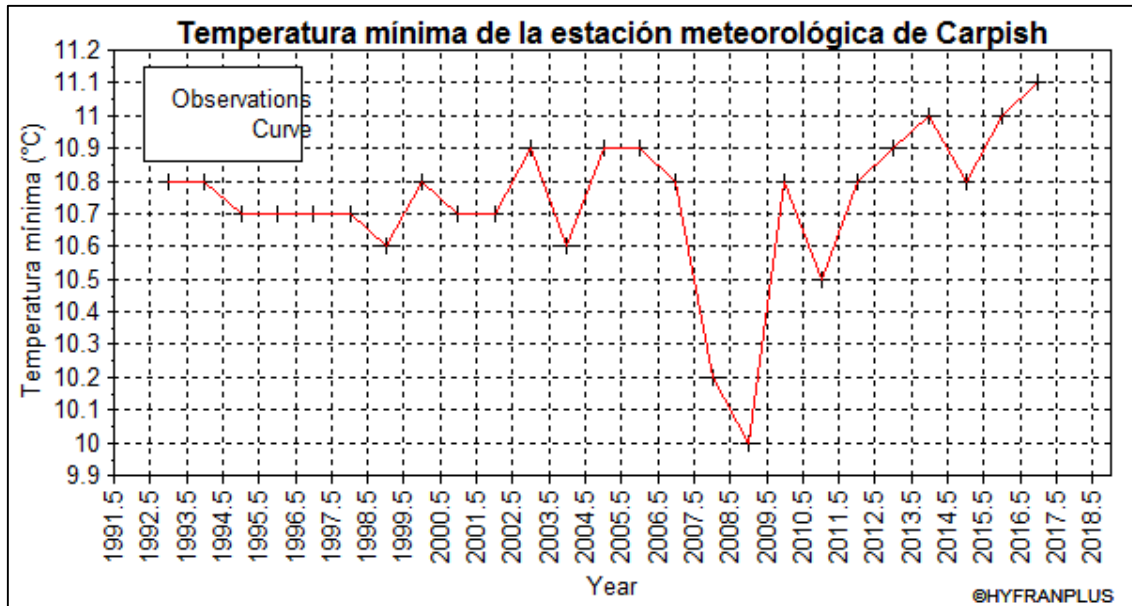


Figura 4. 9. Temperatura mínima de la estación meteorológica de Carpish  
Fuente: HyFranPlus

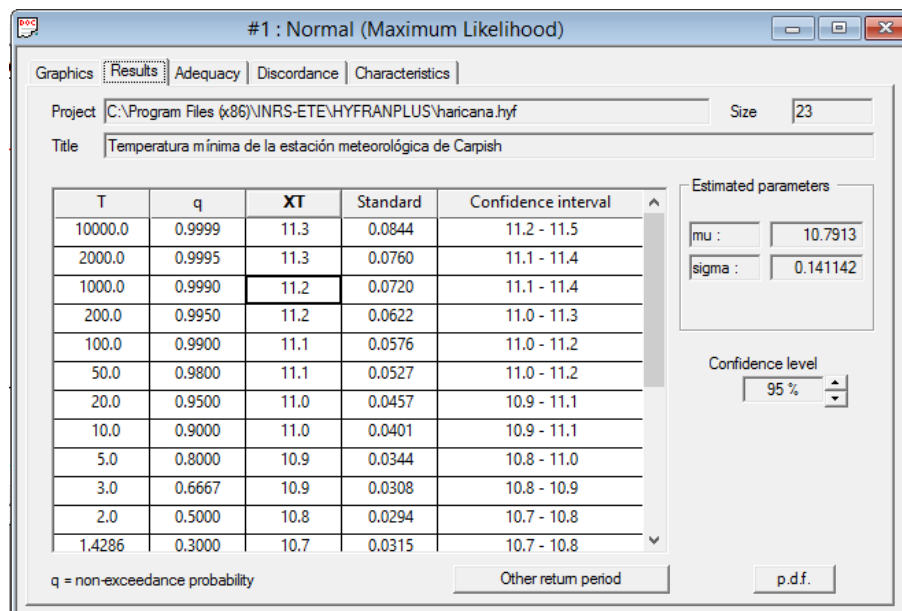


Figura 4. 10. Temperatura mínima para distintos periodos de diseño  
Fuente: HyFranPlus

Estos datos del programa se pueden observar con mas detalle en la tabla 4.14, donde se tiene para cada periodo su valor respectivo de la temperatura mínima, con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 4. 14  
 Valores de la temperatura mínima para distintos periodos de retorno

<b>T</b>	<b>q</b>	<b>XT</b>	<b>Standard deviation</b>	<b>Confidence interval (95%)</b>
10000	0.9999	11.3	0.0844	11.2 - 11.5
2000	0.9995	11.3	0.076	11.1 - 11.4
1000	0.999	11.2	0.072	11.1 - 11.4
200	0.995	11.2	0.0622	11 - 11.3
100	0.99	11.1	0.0576	11 - 11.2
50	0.98	11.1	0.0527	11 - 11.2
20	0.95	11	0.0457	10.9 - 11.1
10	0.9	11	0.0401	10.9 - 11.1
5	0.8	10.9	0.0344	10.8 - 11
3	0.6667	10.9	0.0308	10.8 - 10.9
2	0.5	10.8	0.0294	10.7 - 10.8
1.4286	0.3	10.7	0.0315	10.7 - 10.8
1.25	0.2	10.7	0.0344	10.6 - 10.7
1.1111	0.1	10.6	0.0401	10.5 - 10.7
1.0526	0.05	10.6	0.0457	10.5 - 10.6
1.0204	0.02	10.5	0.0527	10.4 - 10.6
1.0101	0.01	10.5	0.0576	10.3 - 10.6
1.005	0.005	10.4	0.0622	10.3 - 10.5
1.001	0.001	10.4	0.072	10.2 - 10.5
1.0005	0.0005	10.3	0.076	10.2 - 10.5
1.0001	0.0001	10.3	0.0844	10.1 - 10.4

Fuente: HyFranPlus

Ahora relacionando el total de agua de niebla del año 2017 y la temperatura mínima anual del mismo año, se proyectará la cantidad de agua anual para los otros años, se tiene la siguiente ecuación de proyección:

$$\text{Agua de niebla proyectada} = 56.5365 * T_{\min}$$

Con esta ecuación se genera el agua para el periodo de diseño de 10 años y se muestra en la tabla 4.15, la retrospección y proyección del agua de niebla anual en función de la temperatura mínima.



Tabla 4. 15  
*Proyección anual de agua de niebla*

N° de Datos	AÑO	Agua de niebla L	Temperatura mínima (°C)
1	1993	610.59	10.8
2	1994	610.59	10.8
3	1995	604.94	10.7
4	1996	604.94	10.7
5	1997	604.94	10.7
6	1998	604.94	10.7
7	1999	599.29	10.6
8	2000	610.59	10.8
9	2001	604.94	10.7
10	2002	604.94	10.7
11	2003	616.25	10.9
12	2004	599.29	10.6
13	2005	616.25	10.9
14	2006	616.25	10.9
15	2007	610.59	10.8
16	2008	576.67	10.2
17	2009	565.37	10
18	2010	610.59	10.8
19	2011	593.63	10.5
20	2012	610.59	10.8
21	2013	616.25	10.9
22	2014	621.90	11
23	2015	610.59	10.8
24	2016	621.90	11
25	<b>2017</b>	<b>627.56</b>	<b>11.10</b>
26	2018	610.59	10.80
27	2019	610.59	10.80
28	2020	616.25	10.90
29	2022	616.25	10.90
30	2027	621.90	11.00

Fuente: SENAMHI  
 Elaboración propia

Como se mencionó en el ítem anterior las otras variables también influyen en la cantidad de agua que se puede captar de la niebla, ahora que la proyección es anual, la variable como la deforestación pueden traer consigo que el agua estimada sea mucho menor debido que la

vegetación se interpreta en humedad que genera las condiciones adecuadas para la captación del agua de la niebla, he aquí una razón para la protección del bosque de Carpish.

Es por esto la importancia de la evaluación de la incidencia a fondo de las otras variables mencionadas en el capítulo III, ya que influyen en la cantidad de agua que se puede captar de la niebla, se presenta un ensayo teórico, una tentativa de la cantidad de agua de niebla que se pueda captar en los siguientes años de un atrapanieblas de 1m<sup>2</sup>, recalcando que esto es cierto parcialmente ya que las otra variables también influyen.

#### **4.8. Diseño de la eficiencia de colección del sistema experimental atrapanieblas N°01**

##### **(SEA-01)**

En el capítulo II se describió el procedimiento de cálculo de eficiencia de colección del atrapanieblas. En la tabla 4.16 se muestran las propiedades de la malla utilizada, en la tala 4.17 se muestran las variables para el cálculo de la densidad a una altura y temperatura determinada y en la tabla 4.18 se muestran los resultados de las variables climáticas en Carpish durante el periodo de evaluación.

Tabla 4. 16  
*Variables propiedades de la malla*

Variables	Valor	Unidades
Dimensión de la Malla bxh	1x1	m
Diámetro de los filamentos de la malla	0.001	m
Coefficiente de Sombra	50	%

Elaboración propia

Tabla 4. 17  
*Tabla de variables para el cálculo de densidad del aire en función de altitud y temperatura*

Variables	Valor	Unidades
Temperatura(T°)	11.65	°C
	284.65	K°

Presión (Po)	101235	Pa
Constante ( R )	286.9	
Altitud (z)	2582	msnm
Gravedad (g)	9.81	m/s <sup>2</sup>

Elaboración propia

Tabla 4. 18  
*Tabla de variables climáticas en Carpish*

Variables	Valor	Unidades
Temperatura del aire	11.65	°C
Velocidad del viento	1.0588	m
Viscosidad del viento	1.78594E-05	Pa.s
Densidad del viento	909.0426301	Kg/m <sup>3</sup>

Elaboración propia

Para los cálculos de la eficiencia de colección se estimó el diámetro de la gota de agua es de  $3 \times 10^{-5}$  y el contenido de agua líquida de 0,30 g/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que la niebla en Carpish es densa, y la densidad de las gotas de agua es 999.61456 Kg/m<sup>3</sup> obtenido a partir de tabla de propiedades del agua en función de la temperatura. Se realizaron los cálculos que se muestran en la tabla 4.19.

Tabla 4. 19  
*Resultados del cálculo de eficiencia de colección del atrapanieblas*

Parámetro	Valor	Unidades
Número de Reynolds (ReD)	53.89	ADM
Coefficiente caída de presión (Co)	1.85	ADM
Coefficiente de arrastre(CD)	1.18	ADM
Número de Stokes	2.96	m <sup>2</sup> /s
Eficiencia aerodinámica	22.20	%
Eficiencia de deposición o captura	69.16	%
Eficiencia de drenado	100	%
Eficiencia de colección	15.35	%

Fuete: Elaboración propia

Teniendo como resumen que la eficiencia de colección del atrapanieblas ubicado en San Pedro de Carpish es de 15.35%.

#### 4.9. Cálculo teórico de la cantidad de agua que se puede captar de la niebla

Para los cálculos de la cantidad de aguas se estimó la densidad de agua en la niebla de  $3 \times 10^{-4}$  Kg/m<sup>3</sup> y el diámetro de la gota de agua es de  $3 \times 10^{-5}$ , teniendo en cuenta que la niebla en Carpiash es densa. Se tiene como resultado del cálculo teórico de flujo másico en la tabla 4.20, en la tabla 4.21 la cantidad de agua obtenida los meses de noviembre de 2017 a diciembre de 2018.

Tabla 4. 20  
*Flujo másico*

Parámetro	Valor	Unidades
Flujo másico	0.000049	Kg/s
Volumen de agua	0.99	L/día

Nota: la duración del evento en promedio es 5.66 hr.  
Elaboración propia

Tabla 4. 21  
*Cantidad de agua obtenido en campo de noviembre de 2017 a enero de 2018*

Mes	Agua Colectada (L)	Días	Agua Colectada (L/día)
Noviembre	29.35	26	1.13
Diciembre	36.70	31	1.18
Enero	9.26	11	0.84
Total	75.31	68	1.11

Elaboración propia

#### 4.10. Evaluación de la calidad de agua obtenida a partir del sistema de captación de agua de la niebla

Se realizó dos pruebas de calidad de agua, se realizó el muestreo los días 30 de noviembre de 2017 y el 11 de diciembre de 2017, mostrándose los resultados en el anexo 3, donde se obtuvo agua apta para consumo humano en base al reglamento de calidad de agua de consumo humano D.S. 031-2010-SA y se puede ver esto en la tabla 4.22.

Tabla 4. 22  
*Valores de variables de calidad de agua*

DÍA DE PRUEBA	Conductividad (25°C)	Sólidos totales disueltos	Turbidez	Color	Ph	Coliformes totales	Coliformes termotolerantes	Bacterias Heterotróficas	Calificación
		Ensayos análisis físicos químicos					Análisis bacteriológicos		
30-nov-18	34	17	0	0	7.3	0	0	48	<b>APTA</b>
11-dic-18	35	18	0	0	8.5	0	0	33	<b>APTA</b>
DS N° 031-2010-SA	<b>1500</b>	<b>1000</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>6.5-8.5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	

Fuente: DS N° 031-2010-SA y ensayos de calidad de agua en el laboratorio de microbiología de agua de la Dirección Regional de Salud.  
Elaboración propia

Como se puede observar según los valores mínimos según el DS N° 031-2010-SA, las muestras toman valores bajos de las variables de control, este contempla un análisis general, se recomendaría realizar una prueba de calidad de agua más rigurosa para determinar otros factores importantes que inciden en la calidad de agua.

#### 4.11. Comparación del volumen de agua diario teórico con lo obtenido en campo

Como se puede observar se obtuvo mayor cantidad de agua captada que el valor teórico con una aproximación del 111.46% en promedio, entonces cabe señalar que la fórmula de flujo másico da una idea aproximada de la cantidad de agua que se puede captar de la niebla. En la tabla 4.23 se tiene la comparación de lo obtenido en campo y el teórico.

Tabla 4. 23  
*Comparación de lo obtenido en campo y el teórico*

Meses	Agua colectada en campo (L/día)	Agua colectada teórico (L/día)	% del Valor Teórico
Noviembre 2017 - Enero 2018	1.11	0.99	111.46%

Elaboración propia

Con estos resultados se puede responder la hipótesis general, concluyendo lo siguiente:

La fórmula de flujo másico es adecuado para las condiciones climatológicas y el sistema de captación de niebla en Carpish – Chinchao – Huánuco, en el periodo de evaluación.

Bajo lo expuesto se observa que se ha tenido una buena aproximación pero a los largo del desarrollo de la investigación permite observar también la influencia de otras variables en la formación de la niebla y en su cantidad que se pueda captar, siendo materia de investigación más profunda y rigurosa.

---

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

- Es posible evaluar la fórmula de flujo másico con fines de aprovechamiento del agua que se produce a partir del sistema de captación de niebla en la zona de San Pedro de Carpish – Chinchao – Huánuco, la fórmula de flujo másico tiene una aproximación en promedio del 111.46% con los datos tomados en el intervalo de tiempo de noviembre de 2017 a enero de 2018, se debe de considerar las otras variables que intervienen en la cantidad de agua captada de la niebla. Además se obtuvo un potencial hídrico de 1.11 L/día en promedio variando de 0.24 – 2.64 L/día en esencia de la niebla.
- El bosque de Carpish representa un factor importante en la presencia de la niebla en San Pedro Carpish, se tiene alto grado de humedad en promedio de 92,79% gracias a este. Entonces las condiciones climatológicas en Carpish son adecuadas para plantear el sistema de captación de agua de la niebla.
- El sistema de captación planteado en San Pedro de Carpish tiene un eficiencia de colección del 15.35%.
- El agua captada de la niebla en San Pedro de Carpish es de buena calidad y es apto para consumo humano.

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

- Promover la investigación de este recurso hídrico no convencional que es la niebla, para sus distintos usos como consumo humano, riego y reforestación.
- Realizar la medición de datos de captación de agua de niebla de manera más prolongada para tener el comportamiento de la captación del agua a lo largo de todo el año, y realizar un control más riguroso las variables.
- Promover el cuidado de la vegetación y la reforestación del bosque de Carpish dado que la presencia de la niebla se ve mermada por la deforestación.
- Se debe investigar:
  1. La influencia de las variables que influyen en la formación de la niebla y en la cantidad de agua que se puede captar de esta, para entender a un nivel más profundo la niebla y su potencial hídrico.
  2. Nuevos sistemas de captación de niebla, dado que mejorando las características geométricas se puede mejorar el rendimiento de colección de agua de niebla.



---

## Bibliografía

- Aránguiz Quintanilla, G., Morales Estruch, F., Nieto Aravena, J. M., & Silva Villaroel, G. (2009). *Diseño Generativo Aplicación en Sistemas de Atrapanieblas en el Norte de Chile*. Santiago.
- Arboleda, S. (Julio de 2015). *Proyecto Integrador de Saberes ESPOCH*. Obtenido de <http://atrapanieblasanjuan.blogspot.pe/2015/07/atrapanieblas.html>
- Area Técnica Municipal Distrital de Chinchao - MINVIV. (9 de Noviembre de 2017). *Encuesta - Diagnóstico de Sistemas de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural*. Obtenido de [http://nike.vivienda.gob.pe/EncuestaDS/EncuestaImprimir.aspx?icod\\_InformacionDatos=8533](http://nike.vivienda.gob.pe/EncuestaDS/EncuestaImprimir.aspx?icod_InformacionDatos=8533)
- Asado Hurtado, A. M. (s.f.). *Curso de Meteorología y Climatología*.
- Asociación ZABALKETA. (2014). Experiencias de captación de agua de niebla para reforestación, Investigación de campo en territorios con escasez pluvial de Bolivia y Perú. *ZABALKETA*.
- Clements, R., Haggar, J., Quezada, A., & Torres, J. (2013). *Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático - Sector Agropecuario*.
- Colaboradores de Wikipedia. (12 de Agosto de 2018). *Arduino*. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- Colaboradores de Wikipedia. (6 de marzo de 2018). *Página: Rocío (fenómeno físico)*. (L. e. Wikipedia, Editor) Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Roc%C3%ADo\\_\(fen%C3%B3meno\\_f%C3%ADsico\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Roc%C3%ADo_(fen%C3%B3meno_f%C3%ADsico))

- 
- Contreras Tito, V. (2012). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo mejorado de atrapenieblas en el distrito de Ventanilla - Callao*. Lima, Perú.
- Cuéllar Mayta, J. G. (2018). *Impacto económico de la implementación de mecanismos capturadores de agua atmosférica para uso agrícola. Villa María del Triunfo, Lima Perú (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima.
- Delgadillo, F. (2018). Instrumentos Meteorológicos. *Fortalecimiento institucional del SENAMHI para la mejora de la información hidrometeorológica y su uso en la gestión de riesgos a desastres BOL/59514*. Yotala (Chuquisaca).
- Efay, J. A. (1996). *Mecánica de Fluidos*.
- ELECTRONILAB Ingeniería y Diseño Electrónico. (2018). *Sensor de Distancia de Ultrasonido HC-SR04*. Obtenido de ELECTRONILAB: <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>
- Escuela superior de informática. (s.f.). Obtenido de [https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/CORRELACION\\_CON\\_SPSS.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/CORRELACION_CON_SPSS.pdf)
- Galarza Contreras, E., Kámiche Zegarra, J., Diderot Julien, J. C., Dayris Arias, & Paloma Oviedo. (2014). *Perú Evaluación de Necesidades Tecnológicas para el Cambio Climático*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa.
- Gandhidasan, P., Abualhamayel, H., & Patel, F. (2017). *Simplified Modeling and Analysis of the Fog Water Harvesting System in the Asir Region of the Kingdom of Saudi Arabia*. Palanichamy.

- 
- Garay Salazar, A. M. (2016). *Estación de Climatología principal Tingo María, Perú (Meteorología)*. Obtenido de monografías.com:  
<https://www.monografias.com/docs110/informe-estacion-meteorologia/informe-estacion-meteorologia.shtml>
- Horna Vásquez, B. J. (2014). *Visita guiada a la Estación Agrometeorológica Augusto Weberbauer (Trabajo Universitario)*. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (1994). *Mapa ecológico del Perú - Guía explicativa*. Lima, Perú.
- Juliao Veléz, M. P., León Díaz, J. P., & Polo Elles, R. X. (2016). *Diseño mediante modelos matemáticos de un prototipo para la captación de niebla en La Vereda de Leticia, corregimiento de Pasacaballos (Bolívar), como método de recolección de agua (Tesis de pregrado)*. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena. Cartagena.
- Larrain Barros, H. (29 de Diciembre de 2013). *Caleta Chungungo y la camanchaca: Primer Proyecto para dotar de agua atmosférica una caleta costera en Chile: 25-05-1982*. Obtenido de Eco - Antropología: <http://eco-antropologia.blogspot.com/2013/12/caleta-chungungo-y-la-camanchaca-primer.html>
- Marciel, M. (02 de Octubre de 2015). *Qué es la niebla y cómo se forma* *Cómo entender la manera en la que se forma la niebla*. Obtenido de guiainfantil.com:  
<https://www.guiainfantil.com/articulos/educacion/aprendizaje/que-es-la-niebla-y-como-se-forma/>

- 
- Martínez Mancera, A. (2015). *Análisis de las condiciones a escala local para el pronóstico de niebla o neblina en el aeródromo “Ernesto Esguerra Cubides” (Tesis de Maestría)*. Universidad Nacional de Colombia. Bogota, Colombia.
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (Noviembre de 2017). *Encuesta - Diagnóstico de Sistemas de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural*. Obtenido de [http://nike.vivienda.gob.pe/EncuestaDS/EncuestaImprimir.aspx?icod\\_InformacionDatos=8533](http://nike.vivienda.gob.pe/EncuestaDS/EncuestaImprimir.aspx?icod_InformacionDatos=8533)
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). (1976). *Mapa ecológico del Perú - 1976*. Lima.
- Olmo, M., & Nave, R. (Septiembre de 2018). *Ajuste empírico de la densidad de vapor saturado en comparación con la temperatura Celsius*. Obtenido de hyperphysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/relhum.html#c3>
- Ritter, A., Regalado, C., & Aschan, G. (2008). *Fog Water Collection in a Subtropical Elfin Laurel Forest of the Garajonay National Park (Canary Islands): A Combined Approach Using Artificial Fog Catchers and a Physically Based Impaction Model*.
- Rodríguez Evaristo. (2010). *Informe temático de Mesozonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Zona de Selva del Departamento de Huánuco*. Iquitos.
- Sarochar, H. E. (2016). *Introducción a la Meteorología General*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2014). *Requerimientos Técnicos Mínimos para Estaciones Meteorológicas Automáticas*.

Soto, G. (2000). Captación de agua de las Nieblas Costeras(Camanchaca),Chile. En Oficina regional de la FAO, *Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia Experiencias en América Latina* (págs. 131-139). Santiago,Chile.

Toscano Jimenez, M. (2015-2016). Tema 8 Nubes y Nieblas. *Metereología - Universidad de Sevilla*, 20. Sevilla.

Uclés Ramos, O. M. (2014). *La precipitación oculta y su papel en el balance hídrico de ecosistemas semiáridos (Tesis doctoral)*. Universidad de Almeria. Almeria.

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill.

## ANEXOS

## Anexo 1: cuadros de datos meteorológicos del SENAMHI, sistema Arduino y registros

Tabla A1. 1

*Parámetro humedad relativa (%) – periodo 2003-2017*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
2003	93.9	95.5	95.7	92.2	91.4	90.3	87.4	90.3	S/D	89.8	S/D	95.4
2004	92.8	93.9	S/D	92.4	94.9	90.1	92.5	88.5	86.4	93.6	94.8	93.6
2005	91.5	95.1	94.6	92.6	94.8	90.3	87	87.9	87.8	92.1	89.9	94.6
2006	96	95.8	96.7	94.9	91.7	92.3	88	91	91.4	94	95.9	97.9
2007	98.4	96.7	97.3	96	95.8	90.9	92.9	92.2	89.3	93	94.1	95.9
2008	98	96.5	95.7	95.1	94.9	95	94.6	94.2	92.7	94.1	91.6	95.4
2009	95.7	97.2	94.8	94.8	92.3	92.4	93.7	91.9	91.7	89.9	95	97.4
2010	96.9	94.5	93.9	94	93.3	92.6	90.5	86.9	83.4	90	93	95.9
2011	95.2	95.6	97	93.7	92.8	89.9	90	86.9	92.4	94.2	92.2	95.3
2012	96.7	98.1	94.6	94.4	92.7	91.3	89.1	91.3	89.9	91.8	91.9	97
2013	95.4	95.8	96.5	92.3	93.2	93.3	88.2	90.3	85.1	92.4	91.6	95.2
2014	97.4	97.5	94.6	96.7	95.5	90.9	92.9	88.7	90.1	90.1	94.3	S/D
2015	97.3	96.8	98.5	95.9	95	90.6	91.1	84.3	87.8	90.6	92.1	93.8
2016	S/D	96.1	93.6	90.2	90.2	88.2	84.7	88.1	89.8	91.3	90.7	94.3
2017	94.8	95.8	94.3	93.6	91	89.9	87.2	86				

Nota: S/D (sin dato), estos datos faltantes se completó con la media.

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 2

*Parámetro temperatura máxima (°C) - periodo 2003-2017*

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
2003	17.6	17.2	17.6	18.2	18.6	19.6	18.6	18	19.7	19.3	19.2	16.9
2004	17.8	17.4	18.7	20.3	18.4	17.9	18.1	18.3	19.3	18.1	18.4	17.9
2005	18.9	18.4	17.9	19	19.9	19.7	19	20.6	19.1	19	19.6	17.6
2006	17.2	17.8	17.5	18.6	19	19.3	19.7	19.2	20	19.7	18.3	17.2
2007	17.4	18.2	17.6	19	19.4	20.3	18.5	19.4	19.5	19.2	18.9	18.3
2008	17	17.6	17.8	19	19	18.7	19	19.3	19.4	19	20.3	18.6
2009	17.5	17	17.8	18.5	19.6	19	18.8	20.3	19.9	20	18.9	16.5
2010	16.7	18.1	19.4	S/D	19.2	19.6	19.1	20.3	21.2	20.8	19.2	17.2
2011	16.3	16.1	17.1	19.2	19.3	19	18.9	19.8	18.9	18.8	20	18.6
2012	17.7	15.8	18.4	19.1	19.5	19.2	19.7	19.4	19.4	19.4	19.4	17.3
2013	19	18.3	17.8	19.5	19.5	18.8	19.2	19.2	21.2	19.8	18.7	18.6
2014	16.7	17.2	19.3	19.2	19.4	20.4	18.3	19.5	19.8	19.2	19	17.3
2015	16.7	17.5	18.1	19	18.7	20	19.3	21.8	20.1	20.1	20	19
2016	S/D	18.8	20	20.6	20.1	19.9	20.2	20	18.8	19.5	20.5	18.7

<b>2017</b>	17.6	17.3	17.7	18.8	19.4	19.1	19.3	20.5			19.1	18.2
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	--	--	------	------

Nota: S/D (sin dato), estos datos faltantes se completa con la media.

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 3

*Parámetro: temperatura mínima (°C) - periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	12	11.7	11.4	11.2	10.9	10.5	9.3	9.6	10.4	11.2	11.4	11.3
<b>2004</b>	11.8	11.2	11.4	10.9	10.6	9.5	9.5	9.1	9.8	10.8	11.6	11.5
<b>2005</b>	11.4	11.3	11.2	11.8	11.4	10.4	9.3	10	10.6	11.2	11.6	10.9
<b>2006</b>	11.3	11.5	11.2	11.1	9.3	10.1	9.9	10.4	10.8	11.5	11.4	11.7
<b>2007</b>	11.7	11.6	11.4	11.5	11	10	9.3	9.7	10.2	10.8	11	10.9
<b>2008</b>	10.9	10.5	10.5	10.5	9.9	9.2	9.1	10	10	10.5	10.6	10.3
<b>2009</b>	10.4	10	9.8	10	9.9	9.2	9	9.3	10	10	10.8	11.1
<b>2010</b>	11.4	11.3	11.5	S/D	11.2	10.3	9.6	9.6	10.3	10.8	11	11
<b>2011</b>	10.9	10.4	10.4	10.6	10.2	10.2	9.3	10	10	11.2	11.7	11.1
<b>2012</b>	11.2	10.6	10.8	11.1	10.8	10.1	9.6	10	10.6	11.4	11.9	11.6
<b>2013</b>	11.6	11.8	11.8	11.4	11.1	10.5	9.6	9.8	10.4	10.7	11.1	11.5
<b>2014</b>	11.1	11.4	11.5	11.8	11.3	10.7	9.7	9.6	10.5	11.1	11.6	11.5
<b>2015</b>	11.1	11.1	11.3	10.9	11	10.2	9.8	9.9	10.6	11.1	11.8	11.3
<b>2016</b>	S/D	12.1	12.1	11.9	11	10	9.7	10	10.3	10.8	11.4	10.9
<b>2017</b>	10.9	11.2	11.3	11.7	11.4	10.8	9.7	10.4	10.8	11.1	11.7	11.6

Nota: S/D (sin dato), estos datos faltantes se completa con la media de cada año.

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 4

*Parámetro: velocidad del viento a las 7:00 horas (m/s), periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	0.4	0.6	0.4	1.1	1.9	1.4	0.9	0.9	1.1	1.3	0.5	0.3
<b>2004</b>	0.5	0.4	0.2	0.9	0.5	0.9	0.4	0.6	1.3	1	0.6	0.3
<b>2005</b>	0.7	0.4	0.3	0.4	1.8	0.4	1.1	1.2	0.4	0.6	0.5	1.4
<b>2006</b>	1.1	0.8	1	0.5	0.6	1.1	1.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.2
<b>2007</b>	0.3	0.7	0.2	0.4	0.9	0.9	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3
<b>2008</b>	0.4	0.8	0.7	1.7	0.8	1.2	0.5	0.4	0.7	0.1	0.5	0.6
<b>2009</b>	0.3	0.6	0.5	0.1	0.2	0.5	0.6	0.1	0.2	0.3	0.1	0.3
<b>2010</b>	0.3	0.4	0.5	0.3	0.7	0.3	0.3	0.8	1.1	0.4	0.5	0.2
<b>2011</b>	0	0.2	0.4	0	0.6	0.5	0.5	0.6	0.1	0.3	0.6	0.8
<b>2012</b>	0	0.3	0.2	S/D	0.3	0.9	1.4	0.8	0.7	0.4	0.4	1
<b>2013</b>	0.3	0.1	1	0	0.2	0.4	1	0.8	0.5	0.4	0	0.1
<b>2014</b>	0	0.6	1	0.4	0.5	0.7	1	1.2	1.5	0.8	0.9	0.7

<b>2015</b>	0	0	0	0.4	0.1	0.5	0	1	0.3	0.3	0.6	0.1
<b>2016</b>	S/D	0.3	0.5	0.7	0.1	1.3	0.3	0.1	0.5	0.5	0	0.1
<b>2017</b>	0.2	0	0	0.2	0.6	0.9	0.6	0.3				

Nota: S/D (Sin dato), estos datos faltantes se completa con la media de cada año.

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 5

*Parámetro: velocidad del viento a las 13:00 Horas (m/s), periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	1.4	0.7	2	1.6	1.3	2.1	2.3	3.1	2.3	2.4	1.3	1.5
<b>2004</b>	1.4	1.3	1.1	1.3	1.6	0.3	0.8	2.1	1.3	1.6	1.1	0.6
<b>2005</b>	0.9	0.9	1.4	1.6	2.2	1.4	1	2.2	1.6	2	1.7	1.5
<b>2006</b>	2.1	1.2	1.2	1.6	1.5	1.6	1.7	1.5	1.6	0.7	0.5	0.5
<b>2007</b>	0.5	1.4	1.5	1.7	1.3	1.6	1.5	1.7	1.6	0.8	1.2	0.8
<b>2008</b>	0.6	1.4	1.3	3.2	2.1	2.3	1.5	2.1	1.5	2.2	1.6	1.5
<b>2009</b>	0.6	1.3	1	0.8	1.9	1.4	1.2	1.5	1.3	1.2	0.6	0.7
<b>2010</b>	0.5	0.8	0.4	0.8	0.7	0.9	1.4	0.8	0.8	1.6	1.7	0.1
<b>2011</b>	0.3	0.4	0.2	0.4	0.5	1.4	0.6	1.1	0.5	0.3	1.1	0.5
<b>2012</b>	0.1	0.3	0.1	0.2	0.7	0.6	0.6	1	1.3	0.3	0.7	0.1
<b>2013</b>	0	0.1	0.3	0.6	0.3	0.3	0.9	0.5	0.5	0.5	1.1	0.3
<b>2014</b>	0.3	0.4	0.6	0.6	0.9	1.5	1.6	1.4	1.5	0.5	0.3	0.5
<b>2015</b>	0	0	0.3	0	0.1	0.1	0	2.3	1.1	0.8	0.6	0.5
<b>2016</b>	S/D	0.8	0.3	0.3	0.5	0.7	1.2	0.3	0.8	0.5	0.5	0.6
<b>2017</b>	0.5	0.3	1.1	0.9	0.9	0.9	1.4	1.4				

Nota: S/D (Sin dato), estos datos faltantes se completa con la media de cada año.

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 6

*Parámetro: velocidad del viento a las 19:00 horas (m/s), periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	1.1	0.9	0.8	1.3	1.7	0.5	1.2	1.5	1	1	0.7	0.6
<b>2004</b>	0.5	0.4	0.9	0.7	0.8	1.2	0.5	0.6	0.9	1	1	0.5
<b>2005</b>	1.3	0.3	0.8	0.5	1.4	0.2	0.1	0.6	0.9	1	0.9	1.1
<b>2006</b>	0.6	0.7	0.5	1	0.6	1	0.4	0.4	0.7	0.6	0.3	0.3
<b>2007</b>	0.3	0.4	0.5	0.3	0.8	0.5	0.4	0.4	0.2	0.9	0.7	0.6
<b>2008</b>	0.5	0.3	0.7	2.6	1.9	0.5	1.2	0.7	0.9	1.2	0.7	0.5
<b>2009</b>	0.5	0.4	0.5	0.8	1.3	0.4	0.8	0.7	0.5	0.3	0.3	0.3
<b>2010</b>	0.1	0.1	0.9	0.5	0.2	0.2	0	0.1	0.5	0.3	0.6	0.3
<b>2011</b>	0.1	0.4	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2
<b>2012</b>	0	0.7	0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.2	0.1
<b>2013</b>	0.1	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.1	0.5	0.2
<b>2014</b>	0.1	0.4	0.2	0	0.4	0.1	0	0	0.1	1.8	0.2	0



<b>2015</b>	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.6	0.5	0.1	0.3	0.1
2016	S/D	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0.2	0.1	0.1	0.5	0
<b>2017</b>	0.3	0.1	0.1	0	0	0.1	0.3	0				

Nota: S/D (Sin dato), estos datos faltantes se completa con la media de cada año.

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 7

*Parámetro: dirección del viento a las 7:00, periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	C-0	N-.6	C-0	S-1.1	N-1.9	N-1.4	N-9	N-9	SE-1.1	N-1.3	C-0	C-0
<b>2004</b>	C-0	C-0	C-0	N-.9	C-0	N-.9	C-0	N-.6	S-1.3	S-1.0	NE-.6	C-0
<b>2005</b>	NE-.7	C-0	C-0	C-0	SE-1.8	C-0	S-1.1	S-1.2	C-0	S-.6	C-0	N-1.4
<b>2006</b>	S-1.1	N-.8	S-1.0	N-.5	S-.6	SE-1.1	N-1.4	C-0	C-0	N-.7	N-.6	C-0
<b>2007</b>	C-0	S-.7	C-0	C-0	N-.9	S-.9	C-0	N-.6	S-.6	S-.6	S-.6	C-0
<b>2008</b>	C-0	N-.8	N-.7	N-1.7	N-.8	N-1.2	C-0	C-0	N-.7	C-0	C-0	N-.6
<b>2009</b>	C-0	N-.6	C-0	C-0	C-0	N-.5	N-.6	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0
<b>2010</b>	C-0	C-0	S-.5	C-0	N-.7	C-0	C-0	N-.8	S-1.1	C-0	C-0	C-0
<b>2011</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	S-.6	SE-.5	C-0	N-.6	C-0	C-0	N-.6	N-.8
<b>2012</b>	C-0	C-0	C-0	S/D	C-0	SE-.9	SE-1.4	NE-.8	NE-.7	C-0	C-0	C-0
<b>2013</b>	C-0	C-0	SE-1.0	C-0	C-0	C-0	W-1.0	S-.8	S-.5	C-0	C-0	C-0
<b>2014</b>	C-0	SE-.6	S-1.0	C-0	C-0	S-.7	S-1.0	N-1.2	SE-1.0	E-.8	N-.9	S-.7
<b>2015</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	N-.5	C-0	W-1.0	C-0	C-0	S-.6	C-0
<b>2016</b>	S/D	C-0	C-0	SE-.7	C-0	N-1.3	C-0	C-0	C-0	N-.5	C-0	C-0
<b>2017</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	S-.6	N-.9	W-.6	C-0				

Nota: S/D (sin dato), estos datos faltantes

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 8

*Parámetro: dirección del viento a las 13:00 Horas, periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	N-1.4	N-.7	S-2.0	N-1.6	N-1.3	N-2.1	N-2.3	N-3.1	N-2.3	N-2.4	N-1.3	N-1.5
<b>2004</b>	N-1.4	S-1.3	N-1.1	N-1.3	N-1.6	C-0	N-.8	N-2.1	N-1.3	SE-1.6	NE-1.1	N-.6
<b>2005</b>	N-.9	N-.9	SE-1.4	S-1.6	S-2.2	S-1.4	S-1.0	N-2.2	N-1.6	N-2.0	N-1.7	N-1.5
<b>2006</b>	N-2.1	S-1.2	S-1.2	S-1.6	S-1.5	N-1.6	N-1.7	N-1.5	N-1.6	N-.7	S-.5	C-0
<b>2007</b>	S-.5	S-1.4	N-1.5	N-1.7	N-1.3	N-1.6	N-1.5	N-1.7	N-1.6	S-.8	N-1.2	N-.8
<b>2008</b>	N-.6	N-1.4	N-1.3	S-3.2	N-2.1	N-2.3	N-1.5	N-2.1	N-1.5	N-2.2	N-1.6	N-1.5
<b>2009</b>	N-.6	N-1.3	N-1.0	N-.8	S-1.9	S-1.4	N-1.2	N-1.5	N-1.3	S-1.2	S-.6	N-.7
<b>2010</b>	C-0	N-.8	C-0	W-.8	S-.7	N-.9	N-1.4	N-.8	N-.8	W-1.6	N-1.7	C-0
<b>2011</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	S-.5	N-1.4	N-.6	N-1.1	SE-.5	C-0	N-1.1	C-0
<b>2012</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	S-.7	S-.6	N-.6	N-1.0	S-1.3	C-0	S-.7	C-0
<b>2013</b>	C-0	C-0	C-0	N-.6	C-0	C-0	S-.9	S-.5	N-.5	C-0	N-1.1	C-0
<b>2014</b>	C-0	C-0	N-.6	S-.6	S-.9	S-1.5	S-1.6	S-1.4	N-1.5	N-.5	C-0	S-.5

<b>2015</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	N-2.3	N-1.1	N-8	N-6	W-.5
<b>2016</b>	S/D	E-.8	C-0	C-0	C-0	N-.7	N-1.2	C-0	N-8	N-5	C-0	N-.6
<b>2017</b>	SE-.5	C-0	N-1.1	N-9	N-9	N-9	W-1.4	W-1.4				

Nota: S/D (sin dato), estos datos faltantes  
Fuente: SENAMHI

*Tabla A1. 9*

*Parámetro: dirección de viento a las 19:00 horas, periodo 2003-2017*

<b>AÑO</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abril</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Agos</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2003</b>	N-1.1	N-9	N-8	S-1.3	N-1.7	N-5	N-1.2	S-1.5	S-1.0	N-1.0	S-7	N-6
<b>2004</b>	N-5	C-0	N-9	S-7	N-8	S-1.2	C-0	N-6	N-9	SE-1.0	N-1.0	C-0
<b>2005</b>	S-1.3	C-0	S-8	C-0	S-1.4	C-0	C-0	N-6	N-9	N-1.0	N-9	N-1.1
<b>2006</b>	N-6	N-7	C-0	S-1.0	S-6	S-1.0	C-0	C-0	S-7	N-6	C-0	C-0
<b>2007</b>	C-0	C-0	S-.5	C-0	SE-.8	C-0	C-0	C-0	C-0	S-9	S-7	N-6
<b>2008</b>	S-.5	C-0	S-7	N-2.6	S-1.9	C-0	N-1.2	N-7	N-9	S-1.2	N-7	C-0
<b>2009</b>	C-0	C-0	S-.5	N-8	S-1.3	C-0	N-8	N-7	C-0	C-0	C-0	C-0
<b>2010</b>	C-0	C-0	S-9	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	S-5	C-0	N-6	C-0
<b>2011</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	N-5	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0
<b>2012</b>	C-0	N-7	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	S-8	C-0	C-0	C-0
<b>2013</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0
<b>2014</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	S-1.8	C-0	C-0
<b>2015</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	N-6	C-0	C-0	C-0	C-0
<b>2016</b>	S/D	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0
<b>2017</b>	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0	C-0				

Nota: S/D (Sin dato), estos datos faltantes  
Fuente: SENAMHI

*Tabla A1. 10*

*Medida en mm del pluviómetro del 05- nov -17 al 11- ene- 18*

<b>Pluviómetro (información del SENAMHI) Fecha</b>	<b>Medida mm</b>		
	<b>07:00 mm.</b>	<b>19:00 mm.</b>	
DOM	05-nov-17	0	0
LUN	06-nov-17	1.3	1.9
MAR	07-nov-17	2.7	0
MIÉ	08-nov-17	0	2
JUE	09-nov-17	7	2
VIE	10-nov-17	0	2.2
SÁB	11-nov-17	0	25.4

---

DOM	12-nov-17	0	6
LUN	13-nov-17	0	10.7
MAR	14-nov-17	0	0.2
MIÉ	15-nov-17	20.5	3.5
JUE	16-nov-17	0.3	0
VIE	17-nov-17	0.5	0.4
SÁB	18-nov-17	6.2	10.7
DOM	19-nov-17	0	0.2
LUN	20-nov-17	0	0
MAR	21-nov-17	0	2.4
MIÉ	22-nov-17	0	0
JUE	23-nov-17	0	7.9
VIE	24-nov-17	0	2.4
SÁB	25-nov-17	0	0
DOM	26-nov-17	10.2	0
LUN	27-nov-17	0	4.6
MAR	28-nov-17	15.8	18.6
MIÉ	29-nov-17	0	2.4
JUE	30-nov-17	0	0.1
VIE	01-dic-17	10	0.4
SÁB	02-dic-17	5.8	0.8
DOM	03-dic-17	4.4	0
LUN	04-dic-17	2.2	12.1
MAR	05-dic-17	10	9.5
MIÉ	06-dic-17	9.5	2.8
JUE	07-dic-17	0	0
VIE	08-dic-17	0	0
SÁB	09-dic-17	0	0
DOM	10-dic-17	0	0
LUN	11-dic-17	6.8	2.3
MAR	12-dic-17	0	0
MIÉ	13-dic-17	0	6.8
JUE	14-dic-17	0	5.4
VIE	15-dic-17	0	7.8
SÁB	16-dic-17	0	18.3
DOM	17-dic-17	0.1	3.1
LUN	18-dic-17	0.4	1.6
MAR	19-dic-17	27.3	0.9

---

MIÉ	20-dic-17	0	2.5
JUE	21-dic-17	0.1	0.4
VIE	22-dic-17	4	8.2
SÁB	23-dic-17	18.2	1.1
DOM	24-dic-17	0	2.4
LUN	25-dic-17	0	0
MAR	26-dic-17	0	4
MIÉ	27-dic-17	16.7	0
JUE	28-dic-17	0	0
VIE	29-dic-17	47.1	0
SÁB	30-dic-17	10.8	12.2
DOM	31-dic-17	0	9.5
LUN	01-ene-18	0.2	5.3
MAR	02-ene-18	22.1	9.2
MIÉ	03-ene-18	0	0
JUE	04-ene-18	1.7	2.1
VIE	05-ene-18	12.3	6.2
SÁB	06-ene-18	8.9	0.2
DOM	07-ene-18	9.4	6.4
LUN	08-ene-18	24.6	4.8
MAR	09-ene-18	0	1.5
MIÉ	10-ene-18	0	1.3
JUE	11-ene-18	0	2.1

Fuente: SENAMHI

Tabla A1. 11

Mediciones diarias de agua captada en la niebla, agua de lluvia calculada y duración del evento climatológico

Altura (cm)	Volumen diario de agua (L)	Agua de lluvia en litros (L)	Agua de niebla (L)	Duración del evento en horas (hr.)
0.4	0.37	0.00	0.37	2
1.3	1.17	0.39	0.78	4
0.6	0.57	0.33	0.24	3
0.6	0.52	0.25	0.27	4
1.6	1.49	1.10	0.39	6
1.2	1.10	0.27	0.83	4

---

5.8	5.41	3.11	2.3	10
1.3	1.19	0.74	0.45	4
2.7	2.55	1.31	1.24	6
1.4	1.32	0.02	1.3	3
5.4	5.02	2.94	2.08	12
1.3	1.24	0.04	1.2	3
1.2	1.09	0.11	0.98	3
3.8	3.57	2.07	1.5	8
1.4	1.32	0.02	1.3	4
1.1	1.03	0.00	1.03	4
1.9	1.76	0.29	1.47	4
1.1	1.03	0.00	1.03	4
3.6	3.39	0.97	2.42	6
2.0	1.86	0.29	1.57	4
1.3	1.22	0.00	1.22	4
2.7	2.52	1.25	1.27	8
1.6	1.45	0.56	0.89	6
6.1	5.68	4.21	1.47	10
1.2	1.11	0.29	0.82	4
1.0	0.94	0.01	0.93	4
3.0	2.81	1.27	1.54	8
1.9	1.79	0.81	0.98	6
1.5	1.44	0.54	0.9	6
4.1	3.85	1.75	2.1	6
4.9	4.60	2.39	2.21	8
3.5	3.24	1.51	1.73	6
1.2	1.12	0.00	1.12	3
1.3	1.22	0.00	1.22	3
0.9	0.84	0.00	0.84	3
0.9	0.84	0.00	0.84	3
2.1	1.97	1.11	0.86	8
0.7	0.65	0.00	0.65	3
1.4	1.33	0.83	0.5	6
1.5	1.42	0.66	0.76	6
1.8	1.69	0.96	0.73	6
3.2	3.01	2.24	0.77	8
0.9	0.88	0.39	0.49	4
0.8	0.71	0.25	0.46	6

---

---

5.9	5.51	3.45	2.06	10
1.0	0.93	0.31	0.62	6
1.0	0.97	0.06	0.91	4
3.1	2.94	1.49	1.45	8
4.9	4.59	2.36	2.23	10
1.0	0.92	0.29	0.63	6
2.1	1.97	0.00	1.97	3
3.2	3.01	0.49	2.52	4
5.0	4.69	2.05	2.64	8
0.6	0.56	0.00	0.56	3
6.9	6.42	5.77	0.65	12
3.9	3.64	2.82	0.82	8
2.2	2.09	1.16	0.93	6
1.7	1.61	0.67	0.94	6
4.4	4.14	3.83	0.31	10
0.7	0.65	0.00	0.65	3
1.2	1.12	0.47	0.65	3
3.3	3.12	2.27	0.85	8
2.2	2.06	1.11	0.95	6
3.9	3.68	1.94	1.74	8
4.8	4.47	3.60	0.87	8
1.0	0.95	0.18	0.77	4
1.0	0.94	0.16	0.78	4
1.1	1.00	0.26	0.74	4

---

Nota: el agua de lluvia fue obtenido mediante cálculo a partir de los datos de precipitación mencionados en el anterior cuadro.

La duración del evento climatológico contempla la duración de lluvia, niebla y ambos a la vez.

Fuente: SENAMHI, mediciones diarias, resumen de registro de tiempo

## Anexo 2: Tratamiento estadístico de datos

Contreras (2012) en su informe final: Diseño, construcción y evaluación de un prototipo mejorado de atrapanieblas en el distrito de Ventanilla – Callao, deja ver los siguientes anexos que son útiles para entender el tratamiento de datos con el programa SPSS 19.

### Modelo de regresión lineal múltiple

El modelo estadístico de la regresión es equivalente al modelo matemático de la regresión:

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Se sobre entiende que  $E(Y) \text{ o } \mu_{Y|X}$  es la notación abreviada de,  $\mu_{Y|X_1, X_2, \dots, X_k}$  (esperanza condicionada).

Para  $k$  variables independientes ( $k > 2$ ), la gráfica de la ecuación de regresión poblacional es el hiperplano en el espacio de  $k + 1$  dimensiones.

Para visualizar la relación entre la variable dependiente  $Y$  con cada una de las variables independientes  $X_i$  se puede utilizar diagramas de dispersión.

Los coeficientes de regresión  $\beta_i$  de  $X_i$  indican el cambio promedio de  $Y$  correspondiente a un incremento unitario de  $X_i$  cuando las demás  $X$  permanecen constantes.

El modelo de regresión lineal múltiple pretende explicar el comportamiento de la variable aleatoria  $Y$  (observada en escala al menos de intervalo) aplicando información proporcionada por una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , denotada por las variables matemáticas,  $(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}, Y_i)$ , donde  $i = 1, 2, \dots, n$  y  $n > k$ .

El análisis de regresión lineal múltiple es una técnica muy útil empleada en diversas disciplinas.

El modelo estadístico en función de la muestra de variables aleatorias es:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Los supuestos del análisis de regresión múltiple, como ya se ha establecido, son los mismos supuestos del análisis de regresión lineal simple. Esto es se supone que los residuos  $\epsilon_i = Y_i - \mu Y_i$ , son variables aleatorias, cada una con media igual a cero y varianza común  $\sigma^2$  (este supuesto se denomina homocedasticidad).

Para inferencias acerca de los coeficientes de regresión, se supone además, que los residuos  $\epsilon_i = Y_i - \mu Y_i$ , tiene distribución normal. Este supuesto se denomina normalidad.

Se supone además, que las variables  $X_1, X_2, \dots, X_k$  son variables independientes. Cuando este supuesto no se cumple, se dice que el modelo presenta multicolinealidad.

Note que las hipótesis de homocedasticidad y de normalidad son válidas para las variables aleatorias  $Y_i$  pues depende de  $\epsilon_i$ .

### **A2.1. Coeficientes de regresión muestral**

La estimación del modelo de regresión (o ecuación de regresión poblacional)

$$\mu Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

es la ecuación de regresión muestral dada por:

$$\hat{Y} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_p X_p$$

donde,

$\hat{Y}$ : es la estimación de  $\mu Y$  (o de  $Y$  en el modelo estadístico),

$B_0, B_1, \dots, B_p$ : son las estimaciones de los parámetros  $\beta_j = 0, 1, 2, \dots, p$ .

Los coeficientes de regresión muestral  $B_0, B_1, \dots, B_p$  se calculan aplicando el método de mínimos cuadrados a los de una muestra aleatoria de tamaño  $n$ , cuyos valores observados se denota por:  $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}, y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  y  $n > p$ , donde  $y_i$  es la respuesta observada (valor de la variable dependiente  $Y$ ) para los valores  $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}$  de las  $p$  variables independientes respectivas  $X_1, X_2, \dots, X_p$ .



Para cada  $i = 1, 2, \dots, n$ , los datos de la muestra satisfacen la ecuación de regresión poblacional,

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

También, cada  $i = 1, 2, \dots, n$ , los datos de la muestra satisfacen la ecuación de regresión muestral:

$$y_i = B_0 + B_1 x_{1i} + B_2 x_{2i} + \dots + B_p x_{pi} + \epsilon_i$$

donde, las diferencias  $\epsilon_i = y_i - \hat{y}_i$ , denominados errores o residuos, son estimaciones del término error  $\epsilon_i$ .

El método de mínimos cuadrados consiste en determinar los coeficientes  $B_0, B_1, B_2, \dots, B_p$  de manera que hagan mínima la suma de los cuadrados de los residuos expresada por:

$$SCE = \sum_{i=1}^n e^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - B_0 - B_1 x_{1i} - B_2 x_{2i} - \dots - B_p x_{pi})^2$$

Esta condición se cumple, según el teorema de Gauss-Markow, si  $B_0, B_1, B_2, \dots, B_p$  se obtienen resolviendo el siguiente sistema de las  $k + 1$  ecuaciones, que se obtienen derivando SCE cada vez con respecto a  $B_0, B_1, B_2, \dots, B_p$  e igualando a cero:

$$nB_0 + B_1 \sum x_1 + B_2 \sum x_2 + \dots + B_p \sum x_p = \sum y$$

$$B_0 \sum x_1 + B_1 \sum x_2 + B_2 \sum x_1 x_2 + \dots + B_p \sum x_1 x_p = \sum x_1 y$$

$$B_0 \sum x_2 + B_1 \sum x_2 x_1 + B_2 \sum x_2 + \dots + B_p \sum x_2 x_p = \sum x_2 y$$

$$\vdots$$

$$B_0 \sum x_p + B_1 \sum x_p x_1 + B_2 \sum x_p x_2 + \dots + B_p \sum x_p = \sum x_p y$$

donde  $\sum x_j = \sum_{i=1}^n x_{ji}$ ,  $\sum x_j y = \sum x_{ji} y_i$ , para  $j = 1, 2, \dots, k$ .

## A2.2. Coeficientes beta

Cuando el modelo de regresión múltiple tiene unidades de medición que son distintas para las variables  $Y, X_1, X_2, \dots, X_p$ , no se puede comparar directamente de los coeficientes de regresión la importancia o la contribución a la predicción de la variable independiente.

En este caso, los coeficientes beta proporcionan el método para comparar la importancia relativa de cada variable independiente en la predicción de la variable dependiente.

Los coeficientes beta se definen como los coeficientes de la estimación estandarizada del modelo de regresión múltiple estimada, cuyas variables están estandarizadas están dadas por:

$$Z_Y = \frac{Y - \hat{Y}}{S_Y}, \text{ con } i = 1, 2, \dots, p$$

Si el modelo estimado es por ejemplo,

$$\hat{Y} = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4$$

Estandarizado todas sus variables se obtiene el modelo de regresión estimado estandarizado:

$$Z_{\hat{Y}} = \left(B_1 \frac{S_{x_1}}{S_Y}\right) Z_{x_1} + \left(B_2 \frac{S_{x_2}}{S_Y}\right) Z_{x_2} + \left(B_3 \frac{S_{x_3}}{S_Y}\right) Z_{x_3} + \left(B_4 \frac{S_{x_4}}{S_Y}\right) Z_{x_4}$$

donde, los coeficientes estandarizados beta están dados por:

$$beta_i = B_i \frac{S_{x_i}}{S_Y}$$

## A2.3. Coeficiente de determinación múltiple

En el modelo general de regresión lineal múltiple, el coeficiente de determinación  $R^2$  se obtiene de la partición de la variabilidad total de la variable dependiente  $Y$ ,  $SCT = (n - 1)S_y^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  en SCR, variabilidad de la regresión (o explicada por la regresión) y, SCE, variabilidad del error (o no explicada) de manera que:

$$SCT = SCR + SCE$$

donde  $SCR = \sum_{i=1}^p B_i S_{x_i y}$  y  $S_{x,y} = \sum_{i=1}^n x_i y - n\bar{x}\bar{y}$

El coeficiente de determinación múltiple, se define por:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT}$$

y mide el porcentaje de la variable de Y que queda explicada al conocer dos o más variables independientes. Cuanto mayor es el valor de  $R^2$  menor es la dispersión y mayor el ajuste del plano de regresión a los datos.

#### A2.4. Coeficiente de determinación múltiple ajustado

El coeficiente de determinación  $R^2$  tiene el defecto de crecer con el número de variables independientes del modelo de regresión. Para corregir este sesgo se aplica el coeficiente o índice de determinación múltiple ajustado (corregido) que se denota por  $R_A^2$  y se define por:

$$R_A^2 = 1 - \frac{MCE}{MCT} = 1 - \frac{\frac{SCE}{n-p-1}}{\frac{SCT}{n-1}}$$

La raíz cuadrada positiva del coeficiente de determinación múltiple se denomina coeficiente de correlación múltiple R. Mide la relación entre las variables independientes consideradas como grupo y la variable dependiente Y.

#### A2.5. El error estándar de estimación múltiple

El error estándar de estimación múltiple mide la variabilidad de los residuales. Se define, igual que en el modelo de regresión simple por:

$$s = \sqrt{\frac{SCE}{n-p-1}} = \sqrt{MCE}$$

Anexo 3: Prueba de calidad de agua

Primera prueba de calidad (30-11-2017)



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

**DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD HUÁNUCO**  
LABORATORIO REFERENCIAL REGIONAL

"AÑO DEL TURISMO RURAL COMUNITARIO PARA EL DESARROLLO DE LA REGION HUÁNUCO"



**LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE AGUA**

REG.: 1064-2017- LMAA - LRSP HCO

PROYECTO : "EVALUACION DE LA FORMULA DE FLUJO MASICO CON FINES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA QUE SE PRODUCE A PARTIR DEL SISTEMA DE CAPTACION DE NIEBLA EL LA ZONA DE SAN PEDRO DE CARPISH"  
SOLICITANTE : ALFREDO ENRIQUE MORY LOARTE

FECHA DE MUESTREO: 30-11-17 HORA 8:15 am. FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 30-11-17 HORA: 3:00 pm. **MUESTRA TOMADA: INTERESADO**  
MUESTRA PRESERVADA SI ( ) NO ( X )

**RESULTADOS**

MICROORGANISMOS	LOCALIDADES	PUNTOS DE MUESTREO	FUENTE	N° DE MUESTRA	ENSAYOS DE ANALISIS FISICO QUÍMICOS						ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS			Calificación	
					Cond. (umh/cm)	Sol. T. mg/l	Turb. UNT	Color UCV	PH	Cl	Coli. T. UFC/100ml	Coli. Term. UFC/100ml	Bact. Heterot. UFC/ml		
	SAN PEDRO DE CARPISH	AGUA CAPTURADA POR PANEL	SISTEMA DE CAPTACION DE NIEBLA	4808	34	17	0	0	7,3	0	0	0	0	48	APTA
REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA DE CONSUMO HUMANO D.S 031-2010-SA, (LMP)					1500	7000	5	75	6,5-8,5	0,5	0	0	0	500	

SE RECOMIENDA EL USO Y CONTROL DE CLORO EN RESERVOIRIO PARA SER CONSUMIDA COMO AGUA SEGURA.  
LAS MUESTRAS SON RECEPCIONADAS DE LUNES A JUEVES HASTA LAS 3 p.m.  
ENTREGA DE RESULTADOS ES EL DIA VIERNES.

Huánuco, 04 de diciembre de 2017

Microorganismo	Método de Ensayo
Coliforme Total	Método Estandarizado de Filtro de Membrana APHA, AWW, WEF. Part. 9222 D. 21 th edition 2005.
Coliforme Fecal	Método Estandarizado de Filtro de Membrana APHA, AWW, WEF. Part. 9222 D. 21 th edition 2005.
Aerobios mesófilos	Método de placa fluida. APHA AWWA WEF. Part 9215 B. 21th Ed. 2005.

MINISTERIO REGIONAL DE SALUD HUÁNUCO  
Marta Regina Cárdenas Miracoya  
BIÓLOGA  
C.57.4643

Jr. Dámaso Beraún Nº 1017 ☎ (062) 513410-513380-517521 Fax (062) 513261

Segunda prueba de calidad (11-12-2017)



“AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO”  
 “AÑO DEL TURISMO RURAL COMUNITARIO PARA EL DESARROLLO DE LA REGION HUÁNUCO”

GOBIERNO REGIONAL  
 Dirección Regional de Salud Huánuco  
 LABORATORIO REFERENCIAL REGIONAL



LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE AGUA

REG.: 1082-2017- LMAA - LRSP HCO

PROYECTO : EVALUACION DE LA FORMULA DE FLUJO MASICO CON FINES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA QUE SE PRODUCE APARTIR DEL SISTEMA DE CAPTACION DE NIEBLA EN LA ZONA DE CARPISH

SOLICITANTE : ALFREDO ENRIQUE MORY LOARTE

FECHA DE MUESTREO: 11-12-17 HORA 8:15 am. FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 11-12-17 HORA: 3:00 pm. MUESTRA TOMADA: INTERESADO

MUESTRA PRESERVADA SI ( ) NO ( X )

RESULTADOS

MICROREDES Y ESTABLECIMIENTOS	PUNTOS DE MUESTREO	FUENTE	N° DE MUESTRA	ENSAYOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS					ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS			Calificación		
				Cond. (umho/cm)	Sol. T. mg/l	Turb. UNT	Color UCV	PH	Cl	Coli. T. UFC/100ml	Coli. Term. UFC/100ml		Bact. Heterod. UFC/ml	
LOCALIDADES	AGUA CAPTURADA POR PANEL	SISTEMA DE CAPTACION DE NIEBLA	4882	35	18	0	0	8.5	0	0	0	0	33	APTA
				1500	1000	5	15	6.5-8.5	0.5	0	0	0	500	

SE RECOMIENDA EL USO Y CONTROL DE CLORO EN RESERVORIO PARA SER CONSUMIDA COMO AGUA SEGURA.

LAS MUESTRAS SON RECEPCIONADAS DE LUNES A JUEVES HASTA LAS 3 p.m.

OBSERVACION: MUESTRA AGOTADA EN LOS ENSAYOS

Microorganismo	Método de Ensayo
Coliforme Total	Método Estandarizado de Filtro de Membrana APHA, AWW, WEF. Part. 9222 D. 21 th edition 2005.
Coliforme Fecal	Método Estandarizado de Filtro de Membrana APHA, AWW, WEF. Part. 9222 D. 21 th edition 2005.
Aerobios mesófilos	Método de placa fluida. APHA, AWWA WEF. Part. 9215 B. 21th Ed. 2005.



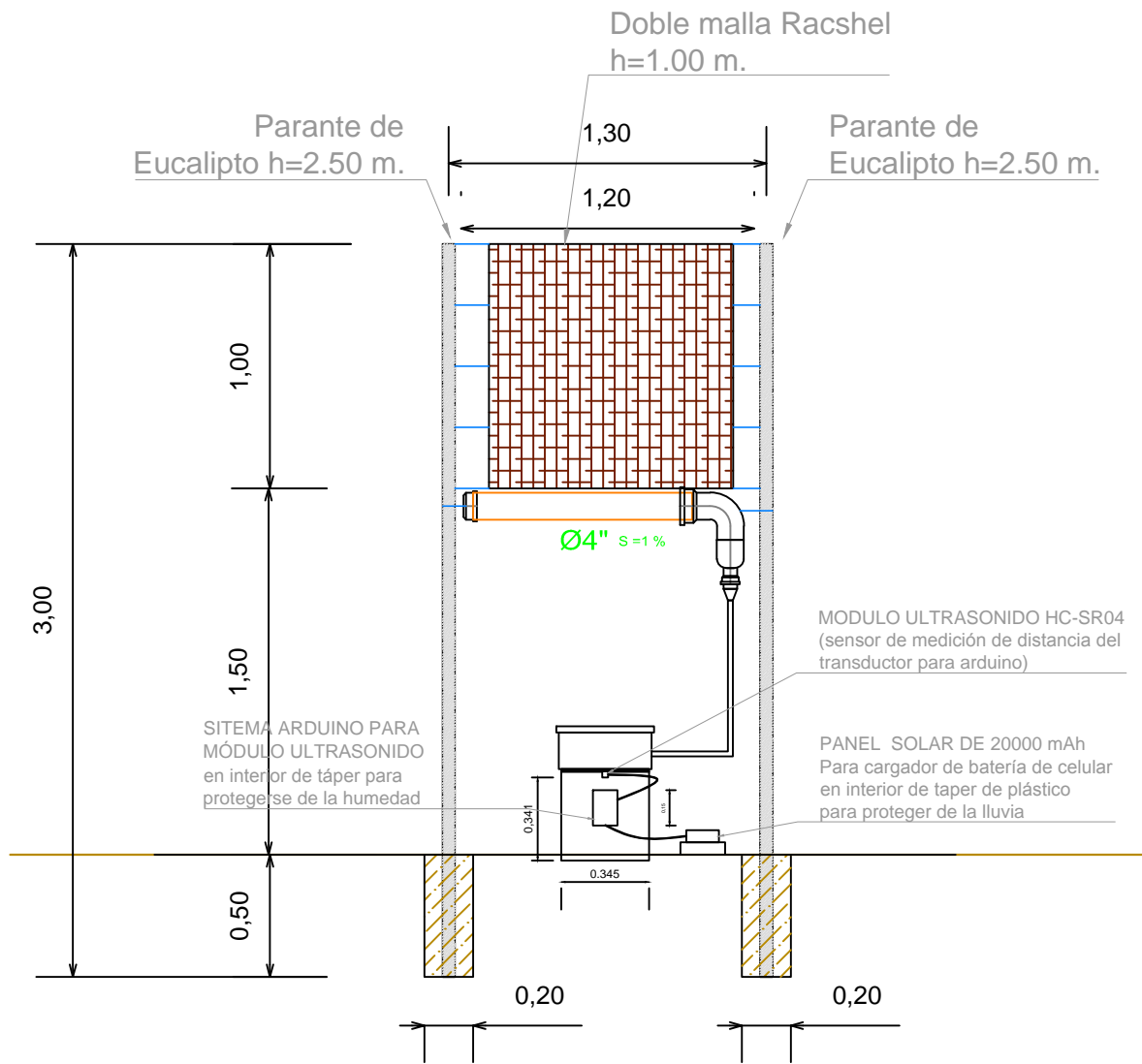
Huánuco, 15 de diciembre de 2017

Jr. Dámaso Beraún N° 1017 ☎ (062) 513410-513380-517521 Fax (062) 513261

---

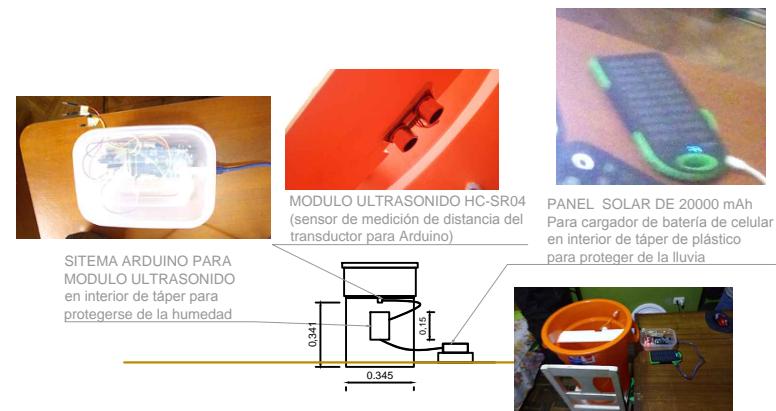
**Anexo 4: Plano de construcción del atrapanieblas**

PLANO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL ATRAPANIEBLAS 01 (SEA-01)



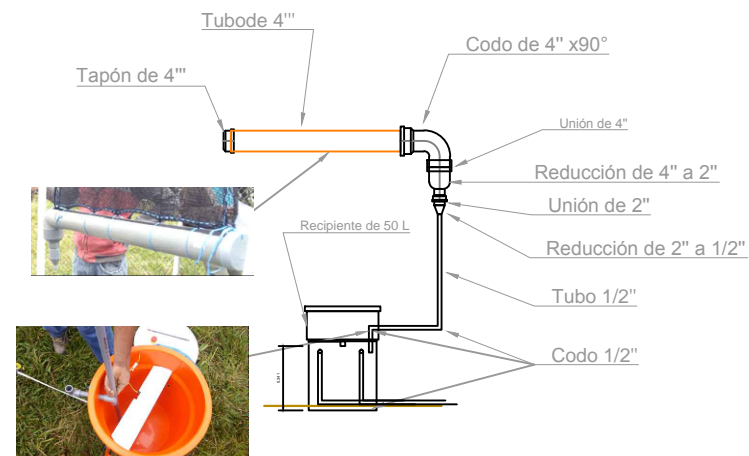
### Elevación Frontal de Atrapanieblas

Escala 1/30



### Detalle del Sistema Arduino

Escala 1/40



### Detalle de Accesorios de Tuberías

Escala 1/40



UNHEVAL

Universidad Nacional  
Hermilio Valdizán

Facultad de  
Ingeniería Civil  
y Arquitectura

Escuela Académica  
Profesional de  
"Ingeniería Civil"

Tesis : ING. BACH. ALFREDO ENRIQUE MORY LOARTE  
Asesor : ING. CLIFTON PAUGAR Y MONTENEGRO  
Revisado por : ING. CLIFTON PAUGAR Y MONTENEGRO  
Diseño : ING. BACH. ALFREDO ENRIQUE MORY LOARTE  
Digitalizacion : ING. BACH. ALFREDO ENRIQUE MORY LOARTE

Departamento:

HUANUCO

Provincia:

HUANUCO

Distrito:

CHINCHAO

Título:

SISTEMA EXPERIMENTAL DE ATRAPANIEBLAS

TESIS:  
EVALUACIÓN DE LA FÓRMULA DE FLUJO MÁSCICO CON FINES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA QUE SE PRODUCE A PARTIR DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE NIEBLA EN LA ZONA DE SAN PEDRO DE CARRISH - CHINCHAO - HUANUCO.

Escala INICIA:  
Fecha : NOVIEMBRE 2017

Lamina N° SEA-01

## Anexo 5: Panel fotográfico



Figura A5. 1. Inspección de campo y ubicación de la estación meteorológica de Carpish  
Nota: Se observa los equipos de medición de la estación meteorológica,  
Fuente: Propia



Figura A5. 2. Construcción del atrapanieblas y su respectivo cerco  
Nota. Se observa el contenedor del atrapanieblas envuelto con plástico, esto para proteger el equipo de medición arduino  
Fuente: Propia





Figura A5. 3. Control de calidad en mediciones de la cantidad de agua

Nota. Se observa la medición manual de la cantidad de agua captada por la niebla, además del control del correcto funcionamiento del sistema arduino.

Fuente: Propia



Figura A5. 4. Agua captada de la niebla

Nota. Se observa intercepción de las gotitas de agua en el atrapanieblas y caída a la canaleta que dirige el agua hacia el contenedor.

Fuente: Propia