



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: “CAPTACIÓN DE AGUA POR MEDIO DE LA TÉCNICA  
DE ATRAPANIEBLAS EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS  
DE GALTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO, ECUADOR.”**

**AUTOR: HIDALGO QUINGA, DEYSI LILIANA**

**DIRECTOR: CARRERA VILLACRES, DAVID VINICIO**

**SANGOLQUÍ**

**2016**


**CERTIFICADO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**CERTIFICADO**

Certifico que el trabajo de titulación, “**CAPTACIÓN DE AGUA POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE ATRAPANIEBLAS EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS DE GALTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR.**” realizado por la señorita **DEYSI LILIANA HIDALGO QUINGA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **DEYSI LILIANA HIDALGO QUINGA** para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 26 de abril del 2016**

  
Dr. David Vinicio Carrera Villacrés  
**Director del Proyecto de Titulación**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORIA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **DEYSI LILIANA HIDALGO QUINGA**, con cédula de identidad N° 1722765839, declaro que este trabajo de titulación **“CAPTACIÓN DE AGUA POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE ATRAPANIEBLAS EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS DE GALTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR.”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Sangolquí, 26 de abril del 2016**

  
**DEYSI LILIANA HIDALGO QUINGA**  
1720212255

## AUTORIZACIÓN




DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### AUTORIZACIÓN

Yo, **DEYSI LILIANA HIDALGO QUINGA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“CAPTACIÓN DE AGUA POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE ATRAPANIEBLAS EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS DE GALTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 26 de abril del 2016

  
DEYSI LILIANA HIDALGO QUINGA  
1720212255

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a todas aquellas personas que estuvieron apoyándome desde el inicio de mis estudios hasta el final, a toda la Comunidad de Galte y a mi familia que estuvieron acompañándome en los buenos y malos momentos alentándome a seguir adelante. Quiero agradecer principalmente a mi querida Tomasa, quien paso los más largos desvelos a mi lado sin abandonarme ni un solo instante hasta el último día de su vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a todos los señores que conforman la Comunidad de Galte en especial a Daniel Guaraca, Vicente Ortiz y Francisco Daquilema por siempre estar pendientes del proyecto y hacer este trabajo posible, también a mi familia por no perder la fe en mí, al Doctor David Carrera por apoyarme en cada paso que di para llegar a este logro, a mis amigos que siempre tuvieron una palabra de aliento y apoyo para nunca rendirme, principalmente a mi “amigo piedra” que estuvo a mi lado en los buenos y malos ratos y a todo el “A”. Igualmente a mis queridas primas que supieron tolerar mi mal humor y alejamiento mientras alcanzaba esta meta.

## ÍNDICE

CERTIFICADO .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE CUADROS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I .....	1
1.1.    Antecedentes .....	1
1.2.    Identificación del problema .....	10
1.3.    Justificación.....	10
1.4.    Objetivos.....	13
1.5.    Hipótesis .....	13
1.6.    Metas.....	14
CAPÍTULO II .....	15
2.        Marco teórico .....	15
CAPÍTULO III .....	31
3.        Materiales y Métodos.....	31
3.1.    Descripción del área de estudio.....	31
3.1.1.  Ubicación .....	31
3.1.2.  Clima .....	33
3.1.3.  Sector Productivo .....	33
3.1.4.  Hidrología .....	33
3.2.    Colectores de Niebla.....	33
3.2.1.  Determinación de puntos de muestreo.....	33
3.2.2.  Materiales para la elaboración de los colectores de niebla.....	34

3.2.3.	Información que debe registrarse respecto a cada sitio seleccionado para colocar los colectores de niebla.....	36
3.3.	Capacitación y educación a la comunidad.....	39
3.3.1.	Datos de agua recolectada por los prototipos .....	39
3.4.	Evaporación .....	41
3.5.	Evapotranspiración (ET).....	41
3.6.	Relleno de datos.....	42
3.6.1.	Homogenización.....	44
3.7.	Encuesta.....	44
3.8.	Diseño del Sistema de Atrapanieblas .....	44
3.9.	Elaboración del Presupuesto.....	45
CAPÍTULO IV.....		46
4.	Resultados y Discusiones.....	46
4.1.	Recolección de Información Meteorológica .....	46
4.2.	Relleno de datos.....	51
4.2.1.	Métodos para tratar datos faltantes.....	51
4.2.1.1.	Método de Correlación - Regresión .....	52
4.2.1.2.	Método Aleatorio Simple .....	56
4.2.2.	Homogenización.....	58
4.2.2.1.	Prueba de Rachas.....	58
4.2.2.2.	Curva de doble masa.....	62
4.3.	Encuesta.....	63
4.4.	Colectores de Niebla.....	63
4.4.1.	Determinación de puntos de muestreo .....	63
4.4.2.	Elaboración de los colectores de niebla y colocación de los prototipos. ....	70
4.4.2.1.	Tejido de Malla .....	70
4.4.2.2.	Construcción de canaletas y almacenamiento de agua. ....	70
4.4.2.3.	Colocación de Colectores de Niebla .....	71
4.4.3.	Capacitación y educación a la comunidad.....	72
4.5.	Calculo de Precipitación, Evaporación y Evapotranspiración .....	72
4.5.1.	Precipitación.....	73
4.5.2.	Evaporación .....	73



4.5.2.1 Nomograma de Wilson .....	74
4.5.3. Evapotranspiración (ET).....	80
4.5.3.1. Método de Thorntwaite.....	80
4.5.3.2. Método de Blaney-Criddle .....	83
4.6. Diseño del Sistema de Atrapanieblas .....	89
4.6.1. Mediante los resultados de Evapotranspiración de los Cultivos.....	89
4.6.2. De acuerdo a la capacidad del recipiente recolector de agua - niebla .....	98
4.7. Elaboración del Presupuesto.....	102
CAPÍTULO V.....	104
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	104
BIBLIOGRAFÍA.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Colectores de niebla construidos en la cima de la montaña para recolectar agua.....	2
<b>Figura 2.</b> Relieve de Sultanato de Omán .....	3
<b>Figura 3.</b> La tribu de los “topnaar”, que habita el desierto de Namibia, sobrevive gracias al Sistema de recolección de niebla.....	4
<b>Figura 4.</b> Atrapanieblas en Falda Verde, cerca de Chañaral, en el norte de Chile. ....	5
<b>Figura 5.</b> Proyecto de abastecimiento de aguas para la comunidad.....	6
<b>Figura 6.</b> Relieve de Eritrea. ....	7
<b>Figura 7.</b> Atrapanieblas ubicado en la aldea de Tojquia, en el noroeste de Guatemala. ....	8
<b>Figura 8.</b> En el desierto de Atacama en Chile, se usa malla de polipropileno para capturar la niebla que rueda en la costa. ....	8
<b>Figura 9.</b> Sistema de Atrapanieblas en la Comunidad de Galte, Chimborazo, Ecuador. ....	10
<b>Figura 10</b> Presencia de Niebla en los páramos .....	15
<b>Figura 11</b> Captación de agua mediante pozos. ....	16
<b>Figura 12.</b> Agua recolectada por drenaje.....	17
<b>Figura 13.</b> Zanjas de drenaje para captación de agua. ....	17
<b>Figura 14.</b> Recolección de agua lluvia .....	18
<b>Figura 15.</b> Técnicas de captación de agua de ríos y arroyos.....	18
<b>Figura 16.</b> Captación de agua de lagos o embalses .....	19
<b>Figura 17.</b> Colocación de atrapanieblas en zonas con alta presencia de niebla .....	20
<b>Figura 18.</b> Presentación del Atrapanieblas a la Comunidad. ....	21
<b>Figura 19.</b> Reuniones con el Secretario de la Junta de Agua, Vicente Ortiz. ....	23
<b>Figura 20.</b> Presencia de Niebla en los páramos. ....	25
<b>Figura 21.</b> Prototipos averiados debido a los fuertes vientos de la temporada. ....	26
<b>Figura 22.</b> Mapa de ubicación de las comunidades campesinas de Galte .....	32
<b>Figura 23.</b> Capacitación del funcionamiento y colocación de los atrapanieblas .....	39
<b>Figura 24.</b> Mapa de Ubicación de las Estacione Meteorológicas más cercanas a la Zona de Estudio .....	47
<b>Figura 25.</b> Variables de Precipitación utilizadas para obtener la ecuación de predicción de datos .....	54

<b>Figura 26</b> Curva de doble masa de precipitación entre las estaciones meteorológicas .....	62
<b>Figura 27.</b> Mapa de ubicación de los Colectores de Niebla en el año 2014 y su reubicación en el año 2015 .....	65
<b>Figura 28.</b> a) Prototipo 1, b) Prototipo 2, c) Prototipo 3, d) Prototipo 4, e) Prototipo 5, f) Prototipo 6, g) Prototipo 7 .....	67
<b>Figura 29.</b> a) Prototipo 1, b) Prototipo 2, c) Prototipo 3, d) Vista panorámica de los prototipos colocados.....	69
<b>Figura 30.</b> Tejido y tensado de la malla .....	70
<b>Figura 31.</b> Construcción de canaletas de los atrapanieblas.....	70
<b>Figura 32.</b> Moradores cavando los huecos y colaborando en el tensado de la malla.....	71
<b>Figura 33.</b> Colocación del Sistema Atrapanieblas.....	71
<b>Figura 34.</b> Nomograma de Wilson para Evaporación .....	77
<b>Figura 35 .</b> Evaporación total mensual (mm/mes).....	80
<b>Figura 36.</b> Evapotranspiración total mensual (mm/mes).....	82
<b>Figura 37.</b> Gráficas de coeficientes de desarrollo parcial .....	85
<b>Figura 38.</b> Curva de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el cultivo de maíz.....	86
<b>Figura 39.</b> Curva de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el cultivo de papa.....	87
<b>Figura 40.</b> Mapa Ombrotérmico del Ecuador .....	88
<b>Figura 41.</b> Vista Superior del Sistema de Atrapanieblas.....	96
<b>Figura 42.</b> Vista Frontal del Sistema de Atrapanieblas .....	96
<b>Figura 43.</b> Ubicación de los Atrapanieblas necesarios para satisfacer 1% de la demanda de agua para maíz .....	97
<b>Figura 44.</b> Ubicación de los Atrapanieblas necesarios para satisfacer 5% de la demanda de agua para maíz .....	98
<b>Figura 45.</b> Vista superior del Sistema Atrapanieblas .....	101
<b>Figura 46.</b> Vista frontal del Sistema Atrapanieblas .....	101
<b>Figura 47.</b> Ubicación del tanque de almacenamiento de agua – niebla .....	102

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b>	Escala de Beaufort utilizada en el presente estudio.....	29
<b>Cuadro 2</b>	Lista de Materiales para la elaboración de los Atrapanieblas.....	35
<b>Cuadro 3</b>	Información localización colectores de niebla .....	38
<b>Cuadro 4</b>	Planilla de recolección de datos agua-niebla .....	40
<b>Cuadro 5</b>	Diferentes métodos para rellenar datos faltantes .....	43
<b>Cuadro 6</b>	Interpretación del coeficiente de correlación .....	55
<b>Cuadro 7</b>	Información de localización de los colectores de niebla en Noviembre de 2014 .....	64
<b>Cuadro 8</b>	Información de localización de los colectores de niebla en Diciembre de 2015 .....	64
<b>Cuadro 9</b>	Agua recolectada por prototipo en el periodo noviembre 2014 - marzo 2015 .....	66
<b>Cuadro 10</b>	Agua recolectada por prototipo en el periodo diciembre 2015 - febrero 2016 .....	68
<b>Cuadro 11</b>	Porcentaje de confiabilidad de los parámetros meteorológicos .....	78
<b>Cuadro 12</b>	Coeficiente global Kg para algunos cultivos.....	83
<b>Cuadro 13</b>	Datos tabulados de la encuesta aplicada a la Comunidad .....	90
<b>Cuadro 14</b>	Cantidad de agua necesaria para la papa en 200 hectáreas de cultivo en la comunidad .....	91
<b>Cuadro 15</b>	Cantidad de agua necesaria para el maíz en 40 hectáreas de cultivo en la comunidad .....	92
<b>Cuadro 16</b>	Calculo de Di para el Cultivo de papa .....	93
<b>Cuadro 17</b>	Calculo de Di para el Cultivo de maíz .....	94
<b>Cuadro 18</b>	Dimensiones del Sistema de Atrapanieblas de acuerdo a las necesidades hídricas del maíz.....	95
<b>Cuadro 19</b>	Agua recolectada por cada m <sup>2</sup> de prototipo en litros/día ..	99
<b>Cuadro 20</b>	Dimensiones del Sistema de Atrapanieblas de acuerdo a la capacidad del recipiente .....	100
<b>Cuadro 21</b>	Presupuesto detallado de los materiales necesarios para la colocación del Sistema de Atrapanieblas de 3 X 2 metros en los siete puntos localizados en la zona de estudio.....	103
<b>Cuadro 22</b>	Presupuesto detallado de los materiales necesarios para la colocación del Sistema de Atrapanieblas de 14 x 10 metros en nueve puntos localizados en la zona de estudio.....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Precipitación Total Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas .....	49
<b>Tabla 2</b>	Temperatura Total Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas .....	49
<b>Tabla 3</b>	Humedad Relativa Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas .....	50
<b>Tabla 4</b>	Velocidad del Viento Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas .....	50
<b>Tabla 5</b>	Heliofanía Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas .	51
<b>Tabla 6</b>	Precipitaciones mensuales de la estación Totorillas que requiere el relleno de datos. ....	53
<b>Tabla 7</b>	Precipitaciones mensuales de la estación Alao con información completa.....	53
<b>Tabla 8</b>	Valores de precipitaciones mensuales completas en la estación Totorillas en el periodo 2005 - 2015 .....	56
<b>Tabla 9</b>	Velocidad del Viento Mensual de la estación que requiere el relleno de datos .....	57
<b>Tabla 10</b>	Velocidad del Viento Mensual completas de la estación Totorillas .....	57
<b>Tabla 11</b>	Número de Rachas desarrollado por Thom.....	59
<b>Tabla 12</b>	Cálculo de la Mediana Anual de Precipitación con los valores de la Estación Totorillas .....	60
<b>Tabla 13</b>	Mediana de los años rellenados de la Estación Totorillas ...	61
<b>Tabla 14</b>	Homogenización de datos con la prueba de rachas.....	61
<b>Tabla 15</b>	Precipitación Anual en el periodo 2005 – 2014 registrada en la Estación Meteorológica Totorillas .....	73
<b>Tabla 16</b>	Factores de conversión para expresar evapotranspiración .	74
<b>Tabla 17</b>	Valores de D en h.....	75
<b>Tabla 18</b>	Valores de Rc, g cal/cm <sup>2</sup> día .....	76
<b>Tabla 19</b>	Datos meteorológicos necesarios para la aplicación del Nomograma de Wilson del año 2005 al 2014. ....	79
<b>Tabla 20</b>	Evaporación Total obtenida mediante el Nomograma de Wilson .....	79
<b>Tabla 21</b>	Constante Ka.....	81

<b>Tabla 22</b>	Evapotranspiración mediante el Método de Thorntwaite.....	82
<b>Tabla 23</b>	Porcentaje de horas de sol mensual con respecto al año en la Latitud Sur.....	84
<b>Tabla 24</b>	Evapotranspiración para diferentes periodos de cultivo de la papa.....	85
<b>Tabla 25</b>	Evapotranspiración para diferentes periodos de cultivo del maíz.....	85
<b>Tabla 26</b>	Coeficientes de lluvia efectiva .....	93

## RESUMEN

Galte es una comunidad que se encuentra en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, en la parroquia Palmira ubicada a 3200 msnm. Debido a la demanda de agua y las bajas precipitaciones de la zona que se ubican entre los 389,30 y 761,44 mm anuales se determinó que no hay suficiente cantidad de agua para cultivos, los cuales son fuente económica de dicha comunidad, por ende, para satisfacer las necesidades inmediatas de agua para riego se instalaron 7 colectores de niebla de 1m<sup>2</sup> en el año 2014 y se reubicaron en el 2015 en la parte alta de esta zona para calcular la producción de agua de niebla, además, se recopiló información meteorológica que posteriormente fue completada mediante métodos estadísticos con lo que se calculó: precipitación, evaporación del lugar y evapotranspiración de los cultivos, y se diseñó el Sistema de Atrapanieblas definitivo en función de los requerimientos hídricos de los cultivos y de la capacidad del tanque de almacenamiento, igualmente, se elaboró el presupuesto necesario y se capacitó a la comunidad para realizar el mantenimiento y reparación del mismo. En conclusión, la extensión de los Sistemas de Atrapanieblas que se plantea colocar no satisface completamente estas necesidades, sin embargo, la comunidad al pertenecer a Juntas de Riego y Drenaje no requieren obtener el 100% de agua para riego de la niebla, sino una parte de ella que les permita regar los cultivos en días donde el agua escasee y no sea suficiente para que le cultivo se desarrolle con normalidad.

### Palabras Clave:

- **BEAUFORT**
- **EVAPORACIÓN**
- **EVAPOTRANSPIRACIÓN**
- **METEOROLOGÍA**
- **OMBROTÉRMICO**

## **ABSTRACT**

Galte is a community located in the province of Chimborazo, in Guamote, in the parish Palmira at 3200 meters. The water demand and low rainfall in the area are located between 389.30 and 761.44 mm annually determined that there is enough water for crops, which are economical source of that community, therefore to meet the immediate needs of water for irrigation 7 fog collectors 1m<sup>2</sup> were installed in 2014 and relocated in 2015 at the top of this zone to calculate the production of water mist also weather information was collected which was later supplemented by statistical methods with what was calculated: precipitation, evaporation of the place and crop evapotranspiration, and the system catchers final was designed based on the water requirements of crops and the capacity of the storage tank, also, the necessary budget was prepared and trained community for maintenance and repair. In conclusion, the extent of the systems catchers that arises place does not completely satisfy these needs, however, the community to belong to Boards of Irrigation and Drainage not required to obtain 100% of irrigation water fog, but a part it allows them to irrigate crops in days where water is scarce and is not sufficient for that crop to develop normally.

### **Key Words:**

- **BEAUFORT**
- **EVAPORATION**
- **EVAPOTRANSPIRATION**
- **METEOROLOGY**
- **OMBROTHERMIC**



# **CAPTACIÓN DE AGUA POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE ATRAPANIEBLAS EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS DE GALTE, CANTÓN GUAMOTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR**

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. Antecedentes**

Desde mucho tiempo atrás, el hombre busca distintas formas de conseguir agua de manera que estas se encuentren cerca de su vivienda, para poder alimentar a sus animales y regar sus cultivos.

La escasez de agua en el planeta aumenta cada año y según la ONU, se estima que para el año 2025 1800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua; y en el 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico. Entre los sistemas propuestos para combatir esta escasez, se destacan los captadores de agua de la niebla. Uno de estos aparatos puede extraer de forma pacífica y económica varios litros diarios de agua que puede ser aprovechada por los pobladores aledaños a este sistema (Organización de las Naciones Unidas, 2014).

En países como Chile, España y Guatemala se han implementado estos sistemas que generalmente son ubicados en desiertos o en lugares que presentan bajas precipitaciones y gran cantidad de neblina. A continuación se detalla brevemente el desarrollo de este sistema a través de los años:

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

Los colectores de niebla ubicados en El Tofo fueron el resultado de varios prototipos de atrapanieblas, sistema que generaba un promedio de 15.000 litros de agua al día, la misma que abastecía a más de 100 hogares ubicados en la zona de estudio (Figura 1).

Sin embargo, años después debido a malas decisiones, los sistemas atrapaniebla dejaron de ser reparados y mantenidos en buen estado, por lo que la población de la zona regresó a su abastecimiento de agua convencional mediante tanqueros (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).

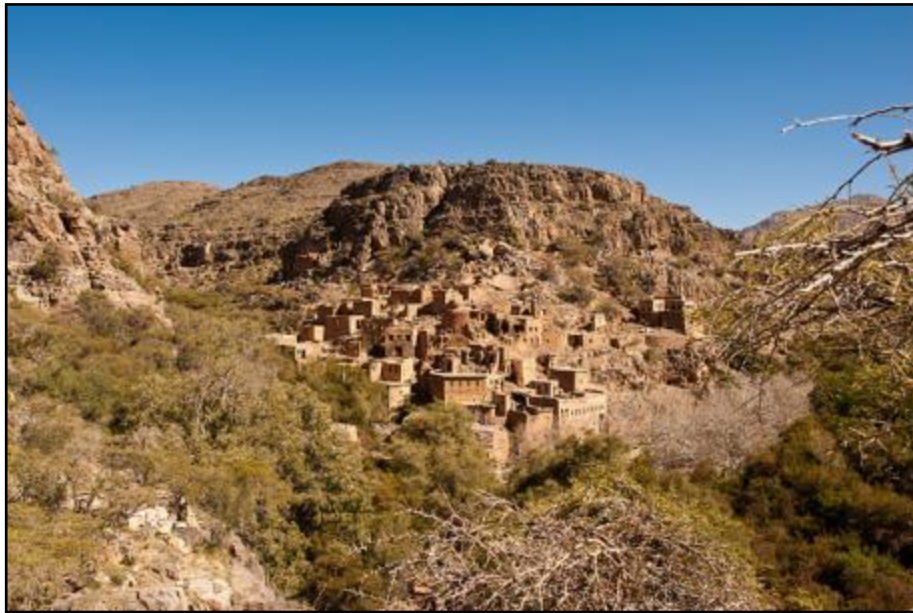


**Figura 1. Colectores de niebla construidos en la cima de la montaña para recolectar agua.**

Fuente: (Cereceda, Pimstein, & Rivera, 2011)

- Sultanato de Omán (1989 – 1990)

Según FogQuest: Sustainable Water Solutions (2015) en este país ubicado al extremo oriental de la Península Arábiga, se colocaron varios atrapanieblas, con un promedio de captación de agua de 30 m<sup>3</sup> al día. Debido a la espesa niebla y los fuertes vientos de la zona, el proyecto de abastecimiento de agua fue abandonado (Figura 2).



**Figura 2. Relieve de Sultanato de Omán**

Fuente: (Ministerio del Turismo del Sultanato de Omán, 2015)

- Namibia (1996 – 2001)

Gran parte de Namibia está ocupado por desierto, y la niebla costera es muy frecuente. Por lo que se colocaron varios atrapanieblas, para abastecer la demanda de agua en la tribu de Topnaar y otras (Figura 3). El sistema ha registrado alrededor de 12 m<sup>3</sup> al día de agua potable (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).



**Figura 3. La tribu de los “topnaar”, que habita el desierto de Namibia, sobrevive gracias al Sistema de recolección de niebla.**

Fuente: (Namibian Academy for Tourism and Hospitality, 2015)

- Chile – Falda Verde (2001)

El sistema de atrapanieblas se encuentra ubicado en la zona costera al norte de Chile, utilizado para abastecimiento de agua de la localidad (Figura 4). Debido a las bajas precipitaciones al año, estos colectores aportan con 430 a 600 litros al día de agua, utilizada para riego de los cultivos de invernadero y plantaciones de aloe vera (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).



**Figura 4. Atrapanieblas en Falda Verde, cerca de Chañaral, en el norte de Chile.**

Fuente: (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2015)

- Yemen – Hajja / Mabijan (2003 – 2005)

Según FogQuest: Sustainable Water Solutions (2015), este país se encuentra al sur de la península arábiga, y la necesidad de agua es muy alta en la región. La existencia de niebla ha impulsado al país a aprovechar este recurso mediante la colocación de 26 colectores de niebla, los cuales proporcionan de 180 litros de agua al día a la comunidad (Figura 5).



**Figura 5. Proyecto de abastecimiento de aguas para la comunidad.**

Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

- Eritrea – Asmara (2005)

Según FogQuest: Sustainable Water Solutions (2015), Eritrea se ubica al noroeste de África, donde hay presencia de niebla muy densa, lo que ha permitido la implementación de 10 atrapanieblas, los cuales proporcionan de aproximadamente 1000 litros de agua al día (Figura 6).



**Figura 6. Relieve de Eritrea.**

Fuente: (Embassy of the State of Eritrea, 2015)

- Guatemala – Tojquia (2006 – En curso)

Esta comunidad se ubica en las montañas de los Cuchumatanes a una altura de 3.300 metros, debido a la necesidad de agua en esta zona, se colocaron 4 colectores de niebla, los mismos que proporcionan alrededor de  $11\text{m}^3$  de agua al día (Figura 7). Años después, se colocaron más colectores llegando a un total de 28 atrapanieblas, dotando a la comunidad de más de 5.000 litros de agua potable al día (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015).



**Figura 7. Atrapanieblas ubicado en la aldea de Tojquia, en el noroeste de Guatemala.**

Fuente: (FogQuest: Sustainable Water Solutions, 2015)

- Chile – Desierto de Atacama (2007)

FogQuest: Sustainable Water Solutions (2015) menciona que los sistemas de atrapanieblas colocados en este desierto se realizaron para fines educativos siendo un total de dos colectores de niebla, los cuales proporcionan de agua a una plantación y a una escuela produciendo 300 litros de agua al día (Figura 8).



**Figura 8. En el desierto de Atacama en Chile, se usa malla de polipropileno para capturar la niebla que rueda en la costa.**

Fuente: (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2015)



- Ecuador – Galte (2014)

Galte es una comunidad que se encuentra en la provincia de Chimborazo, en el cantón Guamote y pertenece a la parroquia Palmira ubicada a una altura de 3200 msnm. Debido a la demanda de agua y a las bajas precipitaciones que hay en la zona mismas que se ubican entre los 389,30 y 761,44 mm anuales se determinó que no existe suficiente cantidad de agua para cultivos y crianza de animales los cuales son fuente económica de dicha comunidad, por tanto, han visto la necesidad de buscar formas convencionales para obtener agua como son: agua de lluvia, agua mediante canales de riego y la implementación de un sistema de atrapanieblas. En el 2014 se instaló un total de 7 prototipos de colectores de niebla los mismos que se encuentra en estudio y observación, para conocer la cantidad de agua que recolectan en un día y previamente colocar una mayor cantidad de atrapanieblas (Figura 9). La información previa de estos prototipos arroja que cada uno de ellos colectores recolecta aproximadamente de 7 a 9 litros de agua al día.

Este proyecto fue galardonado por participar en “Premio Odebrecht para el Desarrollo Sostenible, Ecuador 2014”, obteniendo mención de honor por ser uno de los cinco mejores proyectos de este concurso, además, fue premiado con una publicación en el libro de los diez mejores proyectos del concurso antes indicado.



**Figura 9. Sistema de Atrapanieblas en la Comunidad de Galte, Chimborazo, Ecuador.**

### **1.2. Identificación del problema**

Las Comunidades Campesinas de Galte (Yaguachi y Cooperativa Agrícola Galte Laime) presentan altos niveles de escasez de agua para riego y consumo de sus animales, debido a la baja precipitación durante épocas de verano y a las altas pérdidas de agua en los sistemas de riego. Desde su captación de agua, hasta la distribución en parcela han generado que la mayoría de sistemas tradicionales de riego operen con baja eficiencia, generando un desabastecimiento de este recurso en dichas comunidades.

### **1.3. Justificación**

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) 2015; Chimborazo tiene una población de 458.581 habitantes, y presenta una tasa de pobreza por encima del 66%, además, el 59,20% de habitantes vive en zonas rurales y se estima que el 37,99% de la población es indígena.

Del total de la población que se encuentra en Chimborazo, las comunidades campesinas de Yaguachi y Cooperativa Agrícola Galte Laime representan una población de 274 y 924 habitantes y ocupan una superficie de 3085,909 ha y 4071,794 ha respectivamente.

En la encuesta de Condiciones de Vida realizada por el INEC en el 2014, se indica que el índice de pobreza a nivel nacional para el 2006 fue de 38,3% y para el 2014 se redujo a 25,8%. Con respecto a la provincia de Chimborazo, para el 2006 el índice de pobreza era de 54,1% y para el 2014 fue de 53,5%, reduciéndose de forma mínima en un 1,1%.

Casi la mitad de la PEA de Chimborazo se encuentra concentrada en las zonas rurales, por lo que, dicha provincia es eminentemente agropecuaria y sus principales cultivos son: papa, cebolla, zanahoria, lechuga, remolacha, cebada, maíz y leguminosas de grano. Sin embargo, los niveles de rendimiento por cultivos son los más bajos que el promedio del país por la falta de agua. Más del 85% del área regada en la provincia es por superficie, de baja tecnificación y de similar proporción al del resto del país (Ministerio Coordinador de la Producción, 2011).

El déficit hídrico, especialmente durante épocas de verano, así como las altas pérdidas de agua en los sistemas de riego, desde su captación hasta la distribución en parcela, han generado que la mayoría de sistemas tradicionales de riego operen con eficiencias muy bajas. Debido a que el volumen de agua destinado a riego corresponde al 80%, por lo que es indispensable que se implementen métodos que permitan regar de forma eficiente una mayor superficie con los mismos caudales y alcanzar el aprovechamiento sustentable de los recursos suelo, agua y mano de obra, en la actividad agropecuaria. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizó el cálculo de precipitación, evaporación y evapotranspiración para determinar la cantidad de agua que se pierde y con cuánta agua dispone para su aprovechamiento (Jerezun - Clements & Orduz, 2013).

Las comunidades campesinas de Galte, se sitúan a una altura por encima de los 3.000 msnm, según Pourrut (1995) en su libro "Estudios de Geografía" menciona que el clima de estas comunidades se ubican en el clima ecuatorial frío de alta montaña; donde la altura y la exposición son los factores que condicionan los valores de las temperaturas y las lluvias. De

acuerdo a la información obtenida del Instituto de Meteorología e Hidrología (2015), las temperaturas máximas no sobrepasan los 20°C, y la mayoría de los aguaceros son de larga duración pero de baja intensidad. La humedad relativa es siempre superior al 80%.

Debido a la escases de agua en las comunidades campesinas de Galte, y rigiéndose al Plan Nacional del Buen Vivir, donde uno de sus objetivo es mejorar la calidad de vida de la población empezando por el abastecimiento de agua, alimentación, salud, educación y vivienda, la comunidad busca mecanismos para ampliar el acceso a agua segura fortaleciendo la gestión comunitaria e impulsando un manejo igualitario, eficiente, sustentable y justo del agua, por lo tanto, una de las opciones para solucionar el problema de agua de estas comunidades es captar agua por medio de sistemas atrapanieblas, las cuales consisten en recolectar agua proveniente de la niebla, su elaboración no lleva mucho tiempo y requiere de bajo presupuesto, siendo de larga duración, lo que será de gran ayuda para mejorar la producción agrícola de esta zona, por ser la principal fuente de ingreso de las comunidades. Sin embargo, para tener un buen rendimiento del sistema se debe realizar un mantenimiento periódico y rutinario del mismo, realizando una previa capacitación a la comunidad beneficiada.

Para satisfacer las necesidades inmediatas de agua requeridas por la comunidad, se realizó un proyecto de vinculación con la comunidad con estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE en el año 2014, y se aprobó la segunda fase del proyecto con un rediseño para el año 2015 del cual forma parte el presente trabajo.

#### **1.4. Objetivos**

- **Objetivo General**

Diseñar un Sistema Atrapanieblas que satisfaga las necesidades hídricas para riego en las comunidades campesinas de Galte, Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo, Ecuador.

- **Objetivos Específicos**

- Recopilar información meteorológica sobre velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura, heliofanía y porcentaje de humedad, para obtener la pérdida de agua mediante el cálculo de precipitación mensual y anual, evaporación y evapotranspiración.
- Obtener información básica de población, animales y extensión de cultivos de la comunidad mediante la aplicación de encuestas y conocer la cantidad de agua necesaria para las actividades productivas que realizan.
- Implementar 7 colectores de niebla (prototipos de atrapanieblas) de 1m<sup>2</sup> en las comunidades campesinas de Galte para calcular la producción de agua y determinar la duración de la época de niebla por lo menos durante un año calendario.
- Diseñar el Sistema de Atrapanieblas en función de la metodología especificada y los 7 prototipos, para abastecer la demanda de agua para riego de la comunidad.
- Elaborar el presupuesto de la implementación del Sistema Atrapanieblas y capacitar a la comunidad para realizar el mantenimiento y reparación del mismo.

#### **1.5. Hipótesis**

El diseño del Sistema Atrapanieblas abastecerá el 100% de las necesidades de agua para riego de las comunidades de Yaguachi y Galte Laime.

### **1.6. Metas**

- Una base de datos de la información encuestada, recolectada para el diseño del Sistema Atrapanieblas.
- Una base de datos con los resultados de la cantidad de agua recolectada por prototipo (Colector de niebla de 1m<sup>2</sup>), durante el año 2015.
- Dos diseños de la cantidad de Atrapanieblas a implementar en la Comunidad de Galte, con respecto a las necesidades de agua requerida en función de la capacidad del reservorio y de la cantidad de agua que requiere el cultivo.
- Dos presupuestos, el primero en función del reservorio y el segundo en función del cultivo, los cuales son necesarios para la implementación del Sistema Atrapanieblas en la parte alta de la comunidad de Yaguachi y Galte Laime.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1. La Niebla

La niebla es una nube al ras del suelo, la misma que se compone de pequeñas gotas de agua, menores a 40 micrones, que no tienen el peso suficiente para caer, y quedan suspendidas en el aire para posteriormente ser desplazadas por el viento (Figura 10). En países como Chile, la niebla ha sido ampliamente estudiada como se menciona en la publicación: “Los Atrapanieblas, Tecnología Alternativa para el Desarrollo rural” (Cereceda, P, 2000).



**Figura 10. Presencia de Niebla en los páramos**

En el mundo las neblinas se estudian como agente de riesgo de contaminación: neblinas ácidas y smog. También se estudian como causa de accidentes de transportes, tanto aéreo, terrestre o marítimo; por esta razón en los estudios de localización de terminales de aviones o carreteras, o en el emplazamiento de puertos marítimos, lacustres y fluviales, la presencia de nieblas también es considerada en forma especial (Cereceda, P, 1989).

En diferentes partes del mundo, la niebla es considerada un recurso de agua para la población y para algunas actividades productivas. Es así como ya se ha comenzado a utilizar el agua proveniente de la niebla para abastecer a diferentes comunidades que carecen de la misma para satisfacer sus necesidades de consumo en hogares, cultivo de vegetales y flores e incluso para algunas labores agrícolas.

## **2.2. Actividades de recolección y captación de Agua**

Para obtener agua se pueden emplear diversos tipos de captaciones y recolecciones de agua. Sánchez, F J. (2011) hace referencia a las siguientes formas de captación de agua:

- Pozos excavados: un tipo de excavación antigua y elemental, en donde se explotan acuíferos superficiales, de modo que se forma un pozo y el agua entra por las paredes y orificios que se dejan. Las excavaciones se realizan con la ayuda de máquinas, y en rocas duras con explosivos (Figura 11).



**Figura 11. Captación de agua mediante pozos.**

Fuente: (Fundación Gonzalo Río Arronte, 2013)

- Drenes: son tubos de pequeño diámetro, perforados con una máquina, normalmente hasta unas decenas de metros. Se utilizan más para estabilidad de laderas que para la utilización del agua (Figura 12).





**Figura 12. Agua recolectada por drenaje.**

Fuente: (Fundación SWISSAID Ecuador, 2011)

- Zanjas de drenaje: se utilizan en acuíferos superficiales, para drenar los primeros metros. Se excavan una o varias zanjas, que, siguiendo la pendiente topográfica, vierten a un pozo colector desde el que se bombea. Se los suele utilizar para explotación de agua subterránea y para el drenaje necesario para estabilización de obras (Figura 13).



**Figura 13. Zanjas de drenaje para captación de agua.**

Fuente: (MAGAP, 2015)

Según Pérez (2011) entre las captaciones de aguas superficiales están:

- Captación de agua lluvia: cisternas cuyo objetivo es la recolección de agua de lluvia, en zonas donde existe irregularidad en las lluvias. El problema radica en que estas aguas arrastran impurezas de la superficie, por lo que se requiere de la instalación de un filtro en la propia cisterna, y una limpieza periódica de la misma. Para la recolección del agua lluvia, se

requiere de una serie de elementos de canalización que guían el agua hacia la cisterna (Figura 14).



**Figura 14. Recolección de agua lluvia**

Fuente: (Fundación SWISSAID Ecuador, 2013)

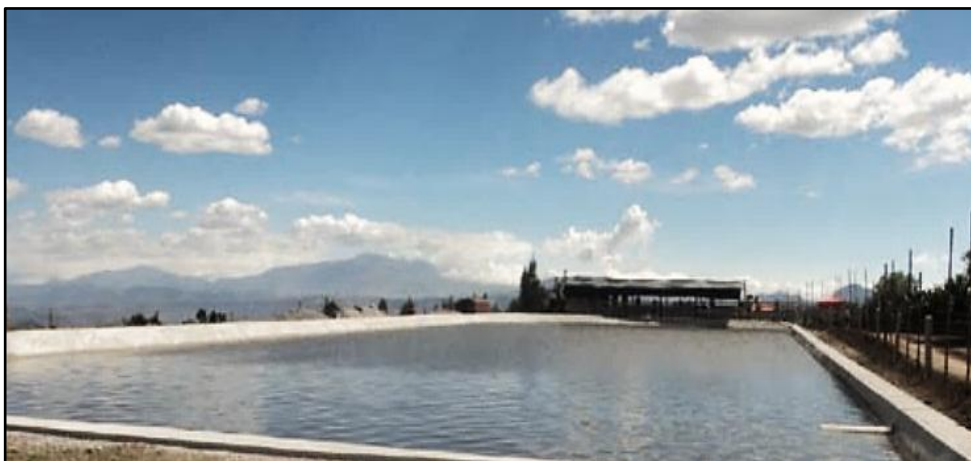
- Captación de agua de ríos y arroyos: la captación se realiza por medio de obras que toman el encauce de las corrientes de agua, previo estudio hidrológico que justifique los caudales utilizables en el río o el arroyo (Figura 15).



**Figura 15. Técnicas de captación de agua de ríos y arroyos**

Fuente: (Fundación SWISSAID Ecuador, 2012)

- Lagos o embalses: se realiza mediante el establecimiento de torres de toma o mediante tuberías, a más o menos profundidad, unidas directamente a la impulsión (Figura 16).



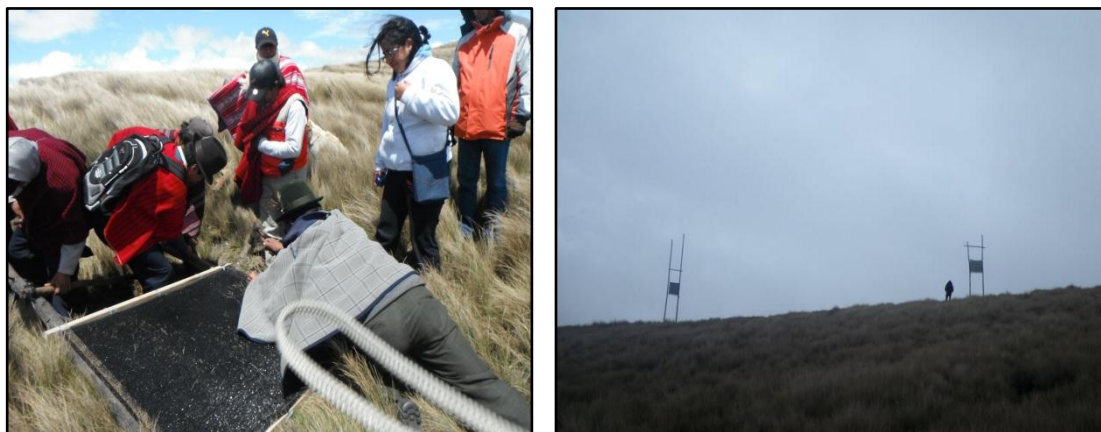
**Figura 16. Captación de agua de lagos o embalses**

Fuente: (Fundación SWISSAID Ecuador, 2010)

Cereceda (2000) hace referencia al sistema de colección de niebla como un sistema simple, el cual se basa en un conjunto de atrapa nieblas, el cual está constituido por una malla que atrapa la niebla, una cañería o sistema de conducción de agua colectada la misma que posteriormente es llevada a tanques de almacenamiento para una posterior distribución. Según Soto (1992), menciona que la calidad de agua de niebla es mejor que el de las fuentes de agua que se utilizan para la agricultura y el uso doméstico.

### **2.3. Sistema de Atrapanieblas**

“Los atrapanieblas son tecnologías no tradicionales que tienen por objetivo atrapar gotas de agua microscópicas (< 40 micrones) presentes en la neblina. Estas gotas al no tener peso suficiente para caer, quedan suspendidas en el aire y son desplazadas por el viento” (Cereceda, 2000). El diseño de los atrapanieblas se basa principalmente en mallas plásticas colocadas hacia el viento en las que choca la niebla para que al pasar por estos, las gotas queden atrapadas en la malla y se escurran hacia canaletas donde se acumulan para almacenamiento (Figura 17).



**Figura 17. Colocación de atrapanieblas en zonas con alta presencia de niebla**

Según Cereceda (2000) menciona que para dimensionar el número de atrapanieblas que un sistema debe tener para abastecer una población, es necesario conocer cuánta agua es potencialmente colectable en la zona requerida. Para ello se hacen estudios o prospecciones para determinar su potencial de colección de agua, y su distribución en el espacio y en el tiempo.

#### **2.4. Factores de Sostenibilidad y Ventajas del Sistema Atrapanieblas**

El recurso natural de la niebla que se utiliza para aliviar el problema de la insuficiencia de agua es una tecnología que funciona en las zonas donde el suministro de agua convencional no es factible y la tasa de recogida de agua de niebla es adecuada para la mayor parte del año. Con el fin de garantizar el éxito, los principales factores de sostenibilidad deben ser abordados antes de la instalación de la tecnología. El sistema de recolección de agua mediante atrapanieblas es sin duda amigable con el medio ambiente ya que según Cereceda (2000) estos ni si quieran alcanzan a interceptar el 1% del total del agua desplazada por el viento, de manera que difícilmente podría alterar los ecosistemas. La verdadera sostenibilidad se alcanza cuando las comunidades beneficiarias llevan toda la responsabilidad de administrar y operar su propio sistema de recolección de agua de niebla. A continuación se detallan los factores de sostenibilidad según Feddehaye *et al.* (2014):

### 2.4.1. Técnico

A pesar de que la tecnología de recolección de niebla se introdujo en la mayoría de los países a través de la ayuda extranjera, su aplicación técnica y operación fácilmente podrían ser adoptadas por los técnicos locales. A tal efecto, las comunidades beneficiarias tienen que aceptar la tecnología como una opción viable en comparación con los métodos convencionales, y luego participar plenamente en la planificación, la ejecución y la terminación del proyecto (Figura 18). Después de que el proyecto se entrega a la comunidad beneficiaria, estos técnicos capacitados deben ser responsables para el seguimiento y el mantenimiento del sistema y las comunidades deben compensarlos por sus servicios. Los periodos de mantenimiento dependen de la cantidad de agua que produzca el sistema, además de las condiciones meteorológicas de la zona. El mantenimiento puede realizarse de forma trimestral, semestral o anual tomando en cuenta el criterio del personal responsable del sistema. El daño físico junto con la falta de compromiso de la comunidad para reparar la malla en el tiempo en última instancia pone en peligro el funcionamiento de la tecnología.



Figura 18. Presentación del Atrapanieblas a la Comunidad.

### 2.4.2. Económico

La tecnología de recolección de niebla es una técnica con baja inversión, que no necesita energía eléctrica y tiene bajos costos de operación en comparación con los sistemas de abastecimiento de agua convencionales

que incurren en gran inversión inicial, además, de los costes operativos para el combustible, piezas de repuesto y mantenimiento. En zonas donde la recolección de agua de niebla es factible, la cantidad necesaria de agua podría ser entregada a las comunidades beneficiarias de una manera relativamente rentable.

Para la colocación de los prototipos colocados en la Comunidad de Galte se requirió un presupuesto no mayor a los 400 dólares para la compra de materiales y la ubicación de los mismos. Este costo puede variar de acuerdo a la facilidad de acceso al lugar, la cantidad de atrapanieblas que se requiera colocar, y la mano de obra disponible para el transporte y colocación de los mismos.

#### **2.4.3. Social**

Las comunidades con alta motivación y un fuerte sentido de propiedad podrían operar de manera sostenible su propio sistema de suministro de agua. Diferentes países han reconocido que para que el sistema funcione por un largo tiempo, las comunidades beneficiarias deben estar motivadas a tener un fuerte sentido de pertenencia. En particular, las mujeres deben participar desde la planificación hasta la etapa de implementación, ya que, son los principales usuarios y beneficiarios directos del agua recogida. Para generar un gran interés por la implementación de esta nueva tecnología, se realizaron varias reuniones con todas las personas que conforman la comunidad presentándoles este sistema y las ventajas que brinda, además, se programaron reuniones con el Secretario de la Junta de Agua de la Comunidad de Galte, el Señor Vicente Ortiz quien es la persona responsable y encargada de planificar y coordinar todos los temas relacionados con el agua que beneficia a su comunidad (Figura 19).



**Figura 19. Reuniones con el Secretario de la Junta de Agua, Vicente Ortiz.**

#### **2.4.4. Administración**

En la mayoría de los casos, los comités de agua se establecen desde la comunidad beneficiaria para gestionar sus respectivos sistemas de recolección de agua de niebla. Además, siempre debe haber una institución local, organización no gubernamental, que asiste y se ve después de la actuación del comité de agua y da asistencia técnica regular hasta que los beneficiarios adopten plenamente la tecnología y sean capaces de ejecutar de manera eficiente e independiente el sistema. Actualmente, la persona encargada de gestionar todo trámite y proyecto relacionado con el agua que beneficia a la comunidad de Galte, donde se desarrolla el presente proyecto es el Señor Vicente Ortiz como se había mencionado anteriormente.

Según Feddehaye *et al.* (2014) la técnica de recolección de niebla en comparación con los medios convencionales de suministro de agua tiene las siguientes ventajas:

#### **2.4.5. Alto potencial**

La niebla como recurso natural tiene la capacidad de suministrar cantidades adecuadas de agua a las comunidades ubicadas en las partes altas de la montaña. En las áreas identificadas como sitios potenciales para la recolección de agua de niebla, el recurso es siempre adecuado y el suministro de agua es limitado solamente por el número de colectores instalados en esas áreas, que a su vez depende de disponibilidad de fondos.

#### **2.4.6. Simpleza**

La tecnología de la recogida de la niebla es relativamente simple de implementar y el funcionamiento del sistema es fácil. La introducción inicial de la tecnología podría requerir asesoramiento externo para identificar los sitios potenciales para la implementación de estos colectores. Una vez que el sistema está instalado, miembros de la comunidad capacitados pueden operar y mantener el sistema. Posteriormente, los expertos locales podrían instalar la tecnología en otros sitios potenciales.

#### **2.4.7. Energía libre**

La tecnología de la recolección de niebla es pasiva y libre de energía. No requiere trabajos mecánicos o suministros de energía necesarios para operar el sistema. Una vez que los colectores de niebla y todo el sistema de suministro de agua se ponen en marcha, el agua es transportada a un sistema de distribución a través de flujo gravitacional de agua.

#### **2.4.8. Costo operacional**

El costo inicial de la infraestructura podría ser excesivo para las comunidades de escasos recursos económicos, por lo que acuden a instituciones educativas en este caso universidades, para que por medio de proyectos de vinculación con la sociedad la implementación de este nuevo sistema por medio de mingas coordinadas entre la institución involucrada y la comunidad sea más económica y accesible.

Sin embargo, si el sistema se instala con toda la fuerza física necesaria para soportar fuertes vientos a través del gobierno o de la ayuda externa, la comunidad beneficiaria podría operar el sistema con los ingresos generados por las tarifas de agua.

#### **2.4.9. Multiusos**

En general, la calidad de agua de niebla es buena y podría ser utilizado para fines domésticos, para el establecimiento de jardines en pequeña escala a través de sistemas de riego por goteo eficientes, y para la



reforestación de las colinas que podrían ser práctica y económicamente difícil a través de otros medios.

### **2.5. Desventajas del Sistema Atrapanieblas**

A continuación se presentan las desventajas de estos sistemas según Feddehaye *et al.* (2014):

#### **2.5.1. Localización**

La formación de niebla necesita climas y gradientes altitudinales favorables, preferentemente en las costas. No todas las regiones del mundo tienen este tipo de entorno natural para la formación óptima de niebla.

#### **2.5.2. Temporada**

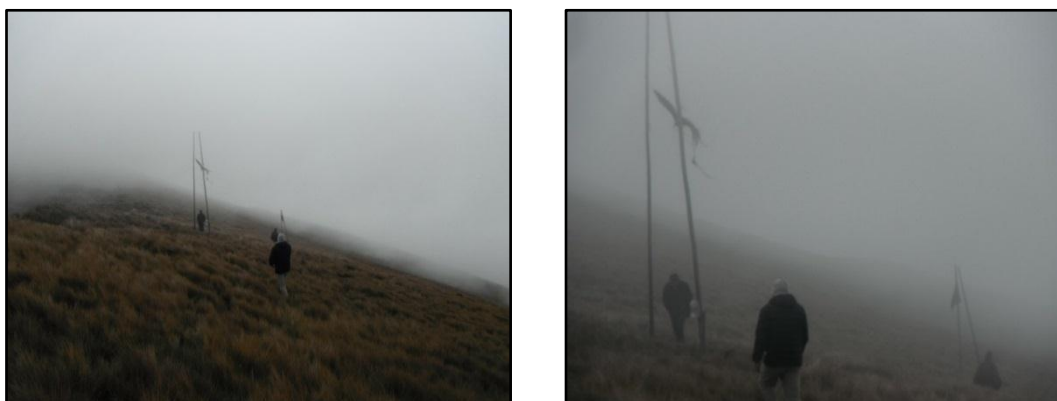
La presencia de niebla es estacional y su duración varía en diferentes regiones del mundo. Algunas áreas tienen niebla durante todo el año como es el caso del páramo en el que se ubica la comunidad de Galte, mientras que otros, tienen unos períodos de niebla (60 días) a pesar de que la tasa de recaudación es alta (30 L/día/m<sup>2</sup>). Por lo tanto, en la mayoría de los casos, el abastecimiento de agua de niebla se vuelve estacional, lo que obliga a las comunidades a encontrar sistemas de abastecimiento de agua suplementarios o incurrir en costos adicionales de almacenamiento para obtener más agua de niebla para usar fuera del período de niebla (Figura 20).



**Figura 20. Presencia de Niebla en los páramos.**

### 2.5.3. Requisito de mantenimiento

Esta tecnología necesita mantenimiento y supervisión regular por miembros capacitados de la comunidad beneficiaria. Estas tareas incluyen apretar los cables sueltos, el zurcido de la malla rota, y en el peor de los casos levantar las mallas derrumbadas. Si las comunidades no están muy motivadas y completamente dedicadas a mantener la funcionalidad del sistema, esta tecnología podría enfrentar un desafío y su terminación como se vio en muchos países. En los meses de Mayo y Junio del 2015 se presentó el caso de la caída de todos los prototipos de atrapanieblas debido a los fuertes vientos que transitan la zona (Figura 21), sin embargo, gracias al compromiso e interés por parte de la comunidad a continuar beneficiándose de esta tecnología se realizó la colocación de nuevos atrapanieblas con mayor seguridad y firmeza.



**Figura 21. Prototipos averiados debido a los fuertes vientos de la temporada.**

### 2.6. Factores Meteorológicos

Según Schemenauer, *et al.* (2005) los factores meteorológicos que se deben considerar para colocar un sistema de atrapanieblas son:

- **Cordillera de montañas**

Es necesario tener una cordillera de montañas para que intercepte las nubes que pasan por la región. Un lugar ideal puede ser una cadena de montañas o simplemente una colina aislada.

- **Altitud**

Por lo general, la altitud donde se colocan los colectores debe ser de 400m a 1.000m sobre el nivel del mar. Sin embargo, se han completado proyectos en lugares continentales con altitudes máximas de 3.800m.

- **Orientación**

El eje longitudinal de la montaña debe estar aproximadamente perpendicular hacia la dirección del viento. Esto aumentará la posibilidad de escoger lugares aceptables para la colección.

- **Pendientes y microtopografía**

Pendientes suaves al lado barlovento de los captadores son ideales. Se hace difícil coleccionar agua en lugar donde la inclinación es muy vertical y la microtopografía, cualquier elemento de 10 m o menos, puede influir en la corriente del viento.

Se deben evitar lugares donde se unen los valles, lugares con muchas colinas o con grandes rocas.

- **Espacio para los colectores**

El lugar debe ser apropiado para erigir los colectores. Lugares ideales incluyen cordilleras y los bordes al barlovento de montañas con niveles planos. Se necesitan 4m de distancia entre los colectores grandes de 12m de largo para dejar que pase la corriente.

- **Relieve en el alrededor**

El área alrededor de los colectores debe ser relativamente despejada. Se debe evitar obstáculos a barlovento y sotavento del captador. Obstáculos pueden incluir relieve natural o artificial de más de 1m de altura como árboles, casas, murallas o pequeñas colinas cercanas.

- **Topografía y velocidad de viento**

El lugar donde se instalen los atrapanieblas debe tener viento frecuente y la ausencia de relieves que puedan interferir con la velocidad y dirección del viento, ya mencionados previamente. Para determinar la velocidad del viento se utilizará la escala de Beaufort, ya que esta escala es simple y sencilla.

Consta de una escala numerada de 0 a 12, las cuales indican la velocidad del viento presente en la zona de estudio de acuerdo a las especificaciones que se indican en el Cuadro 1.

**Cuadro 1**  
**Escala de Beaufort utilizada en el presente estudio**

Nº	DEFINICIÓN	NUDOS	m/seg	km/h	ESPECIFICACIONES (En Tierra)
0	CALMA	< 1	0 - 0,2	< 1	El humo sube verticalmente
1	VENTOLINA	1 - 3	0,3 - 1,5	1 - 5	La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas
2	FLOJITO	4 - 6	1,6 - 3,3	6 - 11	El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas
3	FLOJO (Brisa débil)	7 - 10	3,4 - 5,4	12 - 19	Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas.
4	BONANCIBLE (Brisa moderada)	11 - 16	5,5 - 7,9	20 - 28	El viento levanta los árboles pequeños. En los estanques se forman pequeñas olas.
5	FRESQUITO (Brisa fuerte)	17 - 21	8,0 - 10,7	29 - 38	Se mueven los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.
6	FRESCO (Brisa fuerte)	22 - 27	10,8 - 13,8	39 - 49	Se mueven las ramas grandes de los árboles. Silban los hilos del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	FRESCACHÓN (Viento fuerte)	28 - 33	13,9 - 17,1	50 - 61	Todos los árboles se mueven. Es difícil andar contra el viento.
8	TEMPORAL (Duro)	34 - 40	17,2 - 20,7	62 - 74	Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.
9	TEMPORAL FUERTE (Muy duro)	41 - 47	20,8 - 24,4	75 - 88	Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios, cayendo chimeneas y levantando tejados
10	TEMPORAL DURO (Temporal)	48 - 55	24,5 - 28,4	89 - 102	Se observa rara vez. Arranca árboles y ocasiona daños de consideración en los edificios.
11	TEMPORAL MUY DURO (Borrasca)	56 - 63	28,5 - 32,6	103 - 117	Observada muy rara vez. Ocasiona destrozos en todas partes.
12	TEMPORAL HURACANADO (Huracán)	64 - 71	32,7 - 36,9	118 - 133	

Fuente: (FOG WATER COLLECTION MANUAL, 2005)

- **Lugares a evitar**

Se debe evitar lugares ubicados detrás de una cresta o colina, y lugares con baja altitud.

- **Temperatura**

Las diferencias en las temperaturas se dan por los movimientos de rotación y traslación terrestre, que va posicionando las superficies (terrestres y oceánicas) para la absorción de la radiación solar, calentando mediante reflexión las masas de aire, generando cambios de temperatura y presión, originándose los vientos.

Por este motivo las capas bajas de la atmósfera se hallan a mayor temperatura que las situadas encima de ellas y, por tanto, la temperatura del aire, igual que la presión, disminuye con la altitud. Esta afirmación puede tomarse como cierta para los 11 o 12 primeros kilómetros de la atmósfera, siendo la disminución (gradiente) de unos 0,55° C. por cada 100 m. de aumento en la altura.

En las noches claras, el calor acumulado en la tierra durante el día es irradiado con gran rapidez, de modo que la capa más baja de la atmósfera se enfría antes que las de encima; entonces, la temperatura del aire en la proximidad de la tierra puede ser más baja que en otras capas más altas, invirtiéndose el "gradiente de temperatura", es decir, que esta aumenta con la altitud (inversión térmica) en vez de disminuir (Aranguiz *et al.*, 2009).

## CAPÍTULO III

- 1.
- 2.
3. **Materiales y Métodos**

### **3.1. Descripción del área de estudio**

#### **3.1.1. Ubicación**

El presente proyecto se aplicó en las comunidades campesinas de Yaguachi y Cooperativa Agrícola Galte Laime, ubicadas en la Parroquia Palmira, Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo como se observa en la Figura 22. El mapa de ubicación del área de estudio se realizó mediante el Software ArcGis 9.3 del Laboratorio de Sensores Remotos y Geomática de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, con las coberturas de libre acceso adquiridas del Geoportal IGM y las coordenadas de las comunidades obtenidas en campo mediante el uso de GPS Navegador.



Figura 22. Mapa de ubicación de las comunidades campesinas de Galte



### **3.1.2. Clima**

La temperatura promedio del lugar es de 8,36 °C, cuenta con una precipitación anual que varía entre 352 - 777 mm y se ubica a una altura de aproximadamente 3571 m.s.n.m., según el Plan de Ordenamiento de Territorial - Palmira (2011).

### **3.1.3. Sector Productivo**

El sector de Galte cuenta con tierras que sirven para cultivos y pastoreo, páramos, tierras con plantaciones de pino, eucalipto, terrenos con pendientes moderadas. Los habitantes del lugar donde se asientan las comunidades campesinas de Galte se dedican a la siembra de: papas, ocas, mellocos, mashuas, cebada, chocho y centeno. En estas comunidades predomina el ganado ovino, bovino, equinos, cerdos, camélidos, cuyes, conejos y gallinas (Tiupul, 2014).

### **3.1.4. Hidrología**

La superficie de la parroquia de Palmira donde se encuentran las comunidades campesinas de Galte, mayoritariamente es parte de la cuenca alta del río Ozogoche, siendo el principal afluente del río Pastaza, el mismo que tiene como alimentadora algunos ríos que existe dentro de dicha Parroquia (PDOT Palmira, 2011).

## **3.2. Colectores de Niebla**

### **3.2.1. Determinación de puntos de muestreo**

Se realizó la determinación de los puntos de muestreo a través de discusiones con los dirigentes de la comunidad de Galte como estipula Cereceda (2000), debido a su conocimiento de lugares donde la ocurrencia y presencia de niebla es constante. Pero esta información no fue evidencia definitiva, se utilizó diferentes herramientas geográficas como cartas topográficas, mapas de pendientes e información meteorológica del lugar para establecer puntos tentativos.

En campo, el lugar designado fue el *Divortium aquarium* el cual delimita la cuenca hidrográfica del Guayas y Pastaza, mediante veletas y

anemómetros caseros, se determinó la orientación y velocidad del viento que son factores fundamentales en la colocación de los colectores de niebla, y para mayor confiabilidad de la información se utilizó el mapa de circulación de vientos de la empresa ESRI el cual se visualiza en la página web: <http://esri.github.io/wind-js/>.

Mediante el uso de navegadores GPS se determinó la altura y las coordenadas geográficas de cada punto. Los atrapanieblas colocados en noviembre de 2014, fueron reubicados en el mes de diciembre de 2015 debido a que se averiaron por los fuertes vientos en los meses de mayo y junio de 2015.

### **3.2.2. Materiales para la elaboración de los colectores de niebla**

El diseño y procedimiento de implementación del atrapanieblas se basó en el utilizado en Chile mediante el uso de Manual de FogQuest (2005). Los materiales para la elaboración del Sistema de Atrapanieblas se detallan en el Cuadro 2:

**Cuadro 2****Lista de Materiales para la elaboración de los Atrapanieblas**

Malla Recolectora de Agua (Sarán); (Coeficiente de sombra: 50%)	
Tubo PVC 75 mm	
Tornillos Cáncamo Cerrado (5/16 x 4")	
Tensor Ojo / Gancho (5/8" 160L)	
Cable (3/16 7x 19 AC)	
Grillete de Cable (3/4" CH 3/4")	

Continúa



Manguera Polietileno (Longitud: 10m)	
Tapas PVC	
Codos PVC	
Tanque de almacenamiento de agua con medida	
Postes de Madera	

### 3.2.3. Información que debe registrarse respecto a cada sitio seleccionado para colocar los colectores de niebla.

Según el Manual de FogQuest: Sustainable Water Solutions (2005), para registrar la información de cada uno de los atrapanieblas se debe anotar la localización y la caracterización del lugar. A continuación, se mencionan los aspectos que se tomaron en cuenta para llenar la planilla de información:

- Nombre del área, nombre del colector de niebla y número del sitio.
- Altura (m.s.n.m)
- Descripción del medio antrópico circundante.
- Cercanía a alguna infraestructura (colegios, industrias, residencias)
- Relieve del entorno
- Presencia y estado de la vegetación circundante.
- Tipo de actividad que la población desarrolle en el lugar o cerca de él.
- Accesibilidad al lugar.
- Abastecimiento actual de agua.

En el Cuadro 3 se indica la planilla que se debe llenar con la información antes detallada.

**Cuadro 3**  
**Información localización colectores de niebla**

<b>Número área</b>	<b>Número sitio</b>	<b>Número colector</b>	<b>Localización UTM (Datum)</b>	<b>Orientación</b>	<b>Elevación</b>	<b>Pluviómetro</b>	<b>Nombre observador</b>	<b>Dueño terreno</b>	<b>Extras</b>

Fuente: (FOG WATER COLLECTION MANUAL, 2005)

### 3.3. Capacitación y educación a la comunidad

Se realizó un programa de capacitación y educación acerca de los colectores de niebla y del sistema de atrapanieblas en general, indicando las ventajas, funcionamiento y mantenimiento de los colectores de niebla (Figura 23). Además, se indicó como llevar la medición de agua de niebla captada mediante el registro de los datos en una planilla de recolección de datos agua-niebla y el uso de la escala de Beaufort para colocar la velocidad del viento.



**Figura 23. Capacitación del funcionamiento y colocación de los atrapanieblas**

#### 3.3.1. Datos de agua recolectada por los prototipos

En el Cuadro 4 se presenta el formato que recomienda el Manual de FogQuest: Sustainable Water Solutions (2005) para llenar los datos de agua-niebla recolectada:

**Cuadro 4**  
**Planilla de recolección de datos agua-niebla**

<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Niebla</b>	<b>Vel. Viento</b>	<b>Dir. Viento</b>	<b>Lluvia</b>	<b>Observaciones</b>

Fuente: (FOG WATER COLLECTION MANUAL, 2005)



Para la velocidad del viento se debe observar la Escala de Beaufort.

Con respecto a la dirección del viento se colocó la dirección que corresponda a cada atrapanieblas, estas direcciones pueden ser:

- N / NE
- E / SE
- S / SW
- W / NW

En la parte de observaciones se puede colocar las siguientes notas:

- Color del agua
- Estado de los colectores, si requiere reparación
- Cielo despejado, partes nubosas, niebla, lluvia o llovizna
- Cualquier comentario, animales bebiendo agua, goteras, etc.

### **3.4. Evaporación**

Según el Estudio de Riego y Drenaje realizado por la FAO en el 2006; la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

El cálculo de la Evaporación se facilita mediante la aplicación del nomograma de Wilson, el cual requiere datos como: temperatura, nubosidad, humedad relativa,  $R_c$  para obtener el resultado deseado (Aparicio, F., 2012).

### **3.5. Evapotranspiración (ET)**

El conocimiento de la evapotranspiración es un factor determinante en el diseño de sistemas de riego. Para el cálculo de la ET, se usan fundamentalmente dos métodos: el de Thornthwaite y el de Blaney-Cridde. El primero toma en cuenta sólo la temperatura media mensual, por lo que

arroja resultados estimativos que pueden usarse para estudios preliminares, mientras que el segundo se aplica a casos específicos (Aparicio, F., 2012).

### **3.6. Relleno de datos**

Una de las principales aplicaciones de la estadística a la climatología es la estimación de valores de elementos para ampliar un conjunto de datos, cuando se dispone de pocos datos de observación o de ninguno o cuando los datos esperados no están disponibles. Las técnicas para estimar datos son esencialmente aplicaciones de estadística, y es fundamental que los valores estimados estadísticamente sean realistas y coherentes con los fundamentos físicos (WMO, 2011).

En el Cuadro 5 se presentan los diversos métodos que se utilizan para rellenar datos:

**Cuadro 5**  
**Diferentes métodos para rellenar datos faltantes**

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
Por media	No Condicional Estima valores faltantes de los observados pero la varianza, sesgo, percentiles, etc., pueden verse afectados.
	Condicional Agrupación de valores observados y no observados, y rellenarlos con la media de los valores observados.
Deductiva	Los valores se asignan mediante relaciones lógicas entre las variables. <i>If...then...</i>
Cold Deck	Los valores faltantes se asignan a partir de una encuesta anterior o de otras informaciones, como datos históricos.
Hot Deck	Aleatorio Simple Se asigna aleatoriamente un valor recogido en la muestra de la variable a rellenar.
	Por Grupos Rellena con un valor recogido de la muestra perteneciente al grupo. Es un método estocástico.
	Secuencial Se usa cuando la muestra tiene algún tipo de orden dentro de cada grupo de clasificación.
	Vecino más cercano Es un procedimiento no paramétrico basado en la suposición de que los individuos cercanos en un mismo espacio tienen características similares.
Por regresión	Se emplean modelos de regresión para imputar información en la variable Y, a partir de covariables correlacionadas con Y.
Regresión secuencial multivariante	Se basa en crear rellenos por medio de una secuencia de regresiones. El tipo de regresión depende de la variable que será rellena y se pretende recoger la correlación de todas las variables.
Máxima verosimilitud	Los datos completos siguen un determinado modelo multivariante.
Múltiple	Se basa en el relleno de más de un valor para cada valor ausente.
Múltiple Markov Chain Monte Carlo (MCMC)	Es una colección de procesos de simulación generados por métodos de selección aleatoria mediante cadenas de Markov.

Fuente: (Otero, D., 2011)

### **3.6.1. Homogenización**

El análisis de los datos climáticos para detectar cambios y tendencias es más fiable cuando se utilizan conjuntos de datos homogeneizados.

La mejor manera de mantener la homogeneidad del registro es evitar cambios en la recopilación, el tratamiento, la transmisión y el proceso de los datos (WMO, 2011).

Para la validación de los datos que fueron completados mediante los métodos anteriores se realiza la prueba de rachas y la curva de doble masa. La primera consiste en establecer la hipótesis acerca de la mediana para determinar la confiabilidad de los datos rellenados, y la segunda permite demostrar de manera gráfica la relación que existe entre las variables climáticas de estaciones circundantes entre sí, para períodos comunes de información (Galindo, 2010).

### **3.7. Encuesta**

La encuesta que se aplicó a los habitantes de la comunidad contiene preguntas básicas sobre el número de habitantes de la comunidad, cantidad de animales que posee, los tipos de cultivos y la extensión que ocupan, mismas que se hicieron en base al Fog Water Collection Manual (2005).

La información recopilada sirvió para determinar el agua requerida en personas, animales y cultivos que se encuentran en la comunidad, lo que permitió calcular el tamaño del sistema de atrapanieblas.

### **3.8. Diseño del Sistema de Atrapanieblas**

Para la colocación del Sistema de Atrapanieblas se realizó dos propuestas de diseño; la primera consiste en realizar el diseño de acuerdo a los datos de evapotranspiración obtenidos de los cultivos de papa y maíz para con ellos determinar el agua requerida para su riego y calcular la extensión y número de atrapanieblas a colocarse, y la segunda consiste en colocar los atrapanieblas de acuerdo a la capacidad del recipiente recolector de agua que para este caso tendrá una capacidad de 250L mismos que deben llenarse en un día, así mismo, para lograrlo se calculó la extensión y número de atrapanieblas necesarios en la zona de estudio.

### **3.9. Elaboración del Presupuesto**

Una vez obtenidos los datos de cuánta agua recopila cada colector de niebla, las condiciones adecuadas en las que se encuentran los sitios de muestreo y el previo análisis del mejor sitio para implementar un Sistema de Atrapanieblas, se procedió a la elaboración del presupuesto en donde el costo total de la implementación de un Sistema Atrapanieblas, contendrá todos los materiales e instrumentos necesarios para la instalación del mismo.

## CAPÍTULO IV

3.

4.

### 4. Resultados y Discusiones

#### 4.1. Recolección de Información Meteorológica

En la Figura 24 se identifica el mapa con las estaciones meteorológicas que se encuentran en la provincia de Chimborazo cercanas a la ubicación de la zona de estudio. Las coordenadas de las estaciones meteorológicas fueron obtenidas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).



Figura 24. Mapa de Ubicación de las Estaciones Meteorológicas más cercanas a la Zona de Estudio

La información meteorológica necesaria para el presente proyecto fue obtenida del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), a continuación se enlista dicha información:

- Precipitación (mm)
- Temperatura (°C)
- Velocidad del Viento (m/s)
- Humedad relativa (%)
- Heliofanía (horas)

Los parámetros antes mencionados fueron requeridos para las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio. Sin embargo, debido a que la mayoría de estaciones cercanas eran estaciones pluviométricas, se utilizó la estación Totorillas para este estudio, ya que dicha estación se encuentra a una altura similar a la altura en que se encuentran los prototipos; además, de ella se logró obtener toda la información necesaria además de ser la más cercana al área de estudio.

En las Tablas 1 a 5 que se muestran a continuación se presenta la información obtenida de la estación meteorológica Totorillas utilizada para este proyecto.

En dichas tablas se muestra información meteorológica en un periodo de 10 años, ya que, en años pasados se registró información mensual incompleta e incluso existen años donde no hay datos. Además, como se puede observar la información en este periodo también se encuentra incompleta con espacios vacíos, por lo que se requiere aplicar diferentes métodos para rellenar los datos faltantes.



**Tabla 1**  
**Precipitación Total Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas**

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)												
ESTACIÓN: TOTORILLAS						PERÍODO 2005 - 2015						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>2015</b>	37,4											
<b>2014</b>	41,60	11,00	111,80	76,60	96,10	38,8	31	6,6	93,3	37,6	108,2	75,3
<b>2013</b>	31,20	64,40	63,30	5,40	45,50	2,9	34,7	22	16,5	64,1	9	30,3
<b>2012</b>	101	74,90	60,70	137,80	18,50	11,40	6,90	16,50	0,00	94,30	135,20	30,30
<b>2011</b>	73,8	60,2	154,1	32,3	29,1	32	26,7	13,6	52,1	57,7	59,5	59,5
<b>2010</b>	21,5	46,2	85,9	73,5								
<b>2009</b>	44,1	43,1	21,1	77,1	25,9	8,5	7,7	50,1	16,6	50,1	16,6	
<b>2008</b>	36,1	168,3	72,5	119	102,9	42	21,6	24	17,5	65	19,6	15
<b>2007</b>	47,4	17,4	112,6	53,6	31,4	30	10,5	48,5	0	16,2	32,4	21,8
<b>2006</b>	51,8	52,1	97,1	78,4	4	51,6	2,8	22,9	4,1	63,9	83	98,1
<b>2005</b>	280,6											

Fuente: (INAMHI, 2015)

**Tabla 2**  
**Temperatura Total Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas**

TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (°C)												
ESTACIÓN: TOTORILLAS						PERÍODO 2005 - 2015						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>2015</b>	11,4											
<b>2014</b>	11,9	11,8	11,2	11,8	11,7	11	11,3	10,7	11,2	11	11,8	11,5
<b>2013</b>	11,3	10,4	10,1	12,2	11,4	11,1	10,6	10,8	11	10,6	10,7	11,1
<b>2012</b>	9,6	11	10,4	10,5	10,4	11,9	11,4	11,2	11	11,7	11,4	
<b>2011</b>	10,1	10,6	10,7	10,9	10,7	10,4	9,7					
<b>2010</b>												
<b>2009</b>	10,3	10,8	10,8	10,9	11,4	11,1	11,2					
<b>2008</b>												
<b>2007</b>	11,6	10,8	11,5	10,8	11,3	10,3						
<b>2006</b>												
<b>2005</b>												

Fuente: (INAMHI, 2015)

**Tabla 3**  
**Humedad Relativa Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas**

HUMEDAD RELATIVA MENSUAL (%)												
ESTACIÓN: TOTORILLAS						PERÍODO 2005 - 2015						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	80											
2014	80	79	84	82	84	83	77	77	76	81	77	77
2013	78	81	83	77	78	80	76	75	79	81	79	
2012	89	82	85	84	82	74	73	76	78	76		
2011	84	86	80	78								
2010	79	80	81	87								
2009	84	81	81	80	76	81	79					
2008												
2007	83	81	82	84	83	83						
2006	85	76	73	77	77	84						
2005												

Fuente: (INAMHI, 2015)

**Tabla 4**  
**Velocidad del Viento Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas**

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)												
ESTACIÓN: TOTORILLAS						PERÍODO 2005 - 2015						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	5											
2014	5,8	5,3	5,9	5,9	5,4	5,3	5	5,7	5,4	4	4,6	4,1
2013	4,8	3,3	4,2	5,3	3,8	6,1	6,6	5,5	4,4	6,4	6,3	7,6
2012	4,2	5,4	4,9	4,9	5,2	5,1	6,5	6,5	5,1	5,1	3,8	4,9
2011	5,3	6,7	4,7	6	6,1	4,8	5,8	5,4	5,9	5,4	4,6	
2010	4,3	6,8	6,2	6,5								
2009	4,1	5,1	4,6	4,4	5,3	4,6	5	5,3	4,9			
2008	5,6											
2007	3,8	4,1	4,7	3,3	3,9	4						
2006	2,4	4,3	3,5	3,9	3,8	3,6						
2005	6,9											

Fuente: (INAMHI, 2015)

**Tabla 5**  
**Heliofanía Mensual de la Estación Meteorológica Totorillas**

HELIOFANÍA (horas)												
ESTACIÓN: TOTORILLAS							PERÍODO 2005 - 2015					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	63	145,2	93	109,7	97,7	99,2						
2014	120,5	115	94,8	120,1	104	120,1	142,9	138,4	152,7	136,1	134,5	145,4
2013	127,2	69,3	91,1	124,9	98,2	151	145,4	154,2	125,3	119,8	174,1	149,7
2012	75,1	84,9	108,8	97,5	116,9	167,8	141,6	169,6	161,5	123	114,2	159,3
2011	117,2	93,1	120,8	78,1	125,9	134,3	91,4	159,9	111,5	140,1	103,5	98,4
2010	100,3	151,4	130,2	84,7								
2009	21,8	110,5	44	138	98	147,2	123	191	127,4	151,2		
2008	100,1	59	86	94,7	92,5	132,5	135,3	125,6	86,3	93,5	113,1	128,6
2007	84,4	155,4	67,2	68,9	84,3	200,6	149	91,6	71,8	113,9	89	
2006	135	115,6	94	130,5	185,7	138,9	205,6	175,4	148	158,8	103,4	52,7
2005	106,9											

Fuente: (INAMHI, 2015)

## 4.2. Relleno de datos

### 4.2.1. Métodos para tratar datos faltantes

Una de las principales aplicaciones de la estadística a la climatología es la estimación de valores de elementos para ampliar un conjunto de datos, cuando se dispone de pocos datos de observación o de ninguno o cuando los datos esperados no están disponibles. Las técnicas para estimar datos son esencialmente aplicaciones de estadística, y es fundamental que los valores estimados estadísticamente sean realistas y coherentes con los fundamentos físicos (WMO, 2011).

En el desarrollo teórico de la mayoría de técnicas y modelos estadísticos se parte de supuestos que no se satisfacen en la práctica. Uno de los más comunes es el de los datos faltantes, también denominados perdidos o incompletos. Disponer de un archivo de datos completos es obligatorio para cierto tipo de modelaciones; pero al aplicar métodos inapropiados para completar dichos datos, puede generar más problemas de los que se resuelve (Pacheco, A., Capa, H., 2009).

Los métodos utilizados para completar los datos faltantes resuelven el problema de la distorsión de la distribución de la variable a imputar. A continuación se revisarán dos métodos para completar los datos faltantes.

#### 4.2.1.1. Método de Correlación - Regresión

A menudo, es necesario detectar o especificar la relación entre dos o más elementos. La correlación es una medida que cuantifica una relación.

Independientemente de cuál sea la medida calculada, es importante observar que la correlación no implica una relación de causa a efecto, sino solamente que los elementos tienen un comportamiento similar. Con frecuencia, la relación observada puede atribuirse a factores que no son los que se están examinando; muchas relaciones aparentes que se establecen en la meteorología y la climatología son, por lo general, demasiado complejas para atribuirles a una sola causa (WMO, 2011).

En el presente estudio se utilizó los datos de la estación meteorológica Totorillas como ejemplo para explicar en qué consiste la metodología de relleno de datos.

Para estimar los coeficientes de la ecuación 1, conocida con ecuación de regresión se emplea el método de los mínimos cuadrados, el cual consiste en minimizar la suma de los cuadrados de los errores; es decir, que si se nota a la ecuación de predicción por:

$$y = b_0 + b_1x \quad (1)$$

Donde  $b_0$  y  $b_1$  son los estimadores, y deben ser tales que la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores observados de la variable respuesta y su estimación por la ecuación de regresión sea mínima.

Para obtener la ecuación de predicción se procedió al cálculo de los promedios mensuales de cada estación durante el periodo 2005 – 2014 como se muestran en las Tablas 6 y 7. Las celdas de la estación Totorillas con los datos que se requiere rellenar se resaltaron de color rojo para una mejor identificación, y las celdas de la tabla de la estación Alao la cual se usó como estación de referencia y tiene la información completa en dichos meses se resaltó de color verde.

**Tabla 6**  
**Precipitaciones mensuales de la estación Totorillas que requiere el relleno de datos.**

<b>ESTACIÓN: TOTORILLAS</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOTAL ANUAL</b>
2014	41,60	11,00	111,8	76,60	96,10	38,8	31	6,6	93,3	37,6	108,2	75,3	727,9
2013	31,20	64,40	63,30	5,40	45,50	2,9	34,7	22	16,5	64,1	9	30,3	389,3
2012	101	74,90	60,70	137,8	18,50	11,40	6,90	16,50	0,00	94,30	135,20	30,30	687,5
2011	73,8	60,2	154,1	32,3	29,1	32	26,7	13,6	52,1	57,7	59,5	59,5	650,6
2010	21,5	46,2	85,9	73,5									227,1
2009	44,1	43,1	21,1	77,1	25,9	8,5	7,7	50,1	16,6	50,1	16,6		360,9
2008	36,1	168,3	72,5	119	102,9	42	21,6	24	17,5	65	19,6	15	703,5
2007	47,4	17,4	112,6	53,6	31,4	30	10,5	48,5	0	16,2	32,4	21,8	421,8
2006	51,8	52,1	97,1	78,4	4	51,6	2,8	22,9	4,1	63,9	83	98,1	609,8
2005	280,6												280,6
$\bar{x}$	72,91	58,25	87,23	70,59	44,39	29,21	20,19	23,04	25,48	52,06	62,23	55,21	

Fuente: (INAMHI, 2015)

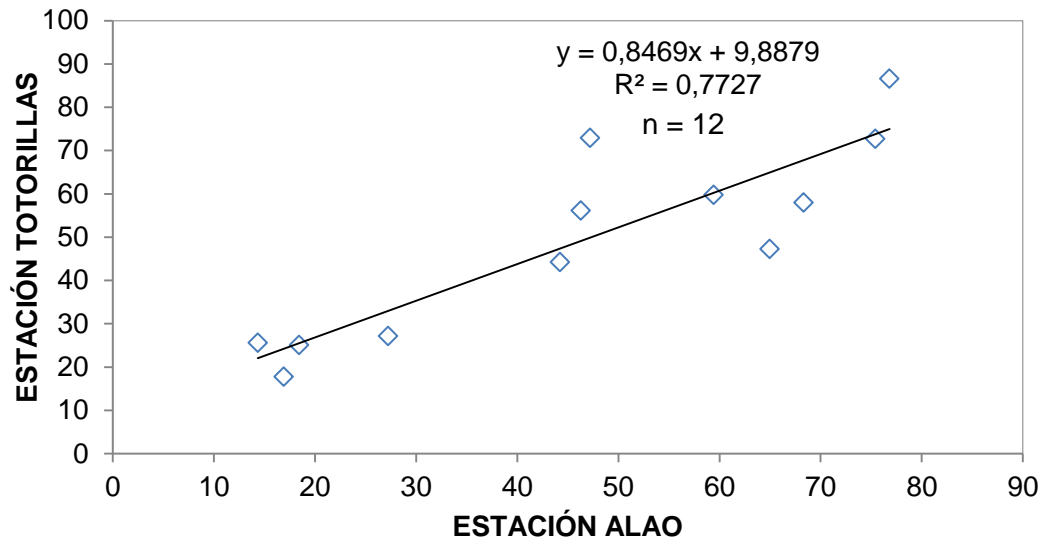
**Tabla 7**  
**Precipitaciones mensuales de la estación Alao con información completa**

<b>ESTACIÓN: ALAO</b>													
<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOTAL ANUAL</b>
2014	68,60	18,90	81,40	34,50	30,30	8	12,4	38,4	37,8	51,4	48,5		430,2
2013	19,60	94,20	46,20	26,40	91,10	6	6,3	5,9	0,1	59,1	41,6	38,9	435,4
2012	83,4	95,30	68,10	74,00	10,30	9,60	2,00	10,90	4,50	67,90	48,30	19,00	493,3
2011	63,2	190,6	58	141,1	28,2	20,5	29,5	10,5	42,2	35,9	106,6	109,4	835,7
2010	1,3	23,9	33,8	102,8	52,9	41,6	44,8	8,2	30,3	21	135,6	73,9	570,1
2009	57,6	41,8	71,7	96,8	10,7	44	8,9	0,2	0,9	21,7	26,1	42,1	422,5
2008	88,8	83,9	86	93,1	85,7	34,8	23,8	33,8	26,3	97,6	81,7	35,7	771,2
2007	47,9	8,9	106,1	112,1	79,3	37,7	14,9	24	12,1	33,7	63,3	61,6	601,6
2006	22,2	35,1	107,7	82,1	31,7	57,9	10,4	11,6	18,8	33,8	102,3	92,3	605,9
2005	6,4	41,7	98,7	50,3	31,2	24,1	3,3	0	11,5	40,9	29,2	111,9	449,2
$\bar{x}$	45,90	63,43	75,77	81,32	45,14	28,42	15,63	14,35	18,45	46,30	68,32	64,98	

Fuente: (INAMHI, 2015)

En la Figura 25 se muestran las variables de precipitación de las dos estaciones meteorológicas, en este caso la estación Totorillas antes mencionada y la estación Alao. Dichas variables están graficadas una en función de la otra para hallar la correlación que existe entre las mismas y con

ello determinar la ecuación con la que posteriormente se rellenaran los datos faltantes.



**Figura 25. Variables de Precipitación utilizadas para obtener la ecuación de predicción de datos**

Si se tiene dos variables aleatorias, una medida de la relación que existe entre ellas es el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ). Para determinar si existe una relación lineal entre las variables, se utiliza la ecuación 2:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2)}} \quad (2)$$

El coeficiente de correlación es un número entre  $-1$  y  $+1$ . Mide la relación lineal existente entre dos elementos. Un coeficiente cero implica que no hay similitud de comportamiento entre los elementos. Un coeficiente  $+1$  indica que cuando el valor de un elemento aumenta, el valor del otro elemento también lo hace en proporción directa. Un coeficiente  $-1$  indica que cuando el valor del primer elemento aumenta, el valor del otro elemento disminuye en proporción inversa, por lo tanto, si los valores de  $r$  son cercanos a  $+1$  o  $-1$ , esto indica que existe una fuerte relación entre las dos variables (Galindo, 2010).

Uno de los problemas que supone el uso de un coeficiente de correlación simple es que la relación implícita es lineal. A menudo, los elementos meteorológicos están relacionados de una manera no lineal y es posible que

sea necesario transformar el conjunto de datos antes de calcular un coeficiente de correlación (WMO, 2011).

Resulta difícil precisar a partir de qué valor del coeficiente de correlación se puede considerar que existe una correlación lineal entre dos variables, sin embargo, para la interpretación de los valores de los coeficientes de correlación entre series de datos se utilizan unos rangos de correlaciones determinado por Bisquerra (1989), citado por Abad, I. (2014) y se presenta en el Cuadro 6.

**Cuadro 6**  
**Interpretación del coeficiente de correlación**

$r = 1$	Correlación perfecta
$0,8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0,6 < r < 0,8$	Correlación alta
$0,4 < r < 0,6$	Correlación moderada
$0,2 < r < 0,4$	Correlación baja
$0 < r < 0,2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

Fuente: (Abad, I., 2014)

Con el gráfico de las variables de precipitación se obtiene la ecuación de predicción así como el valor de  $r$ , que para este caso se debe obtener la raíz cuadrada de  $r^2$  mismo que se muestra en la *Figura 25*. Para este caso, el resultado del coeficiente  $r$  es igual a 0.87903356, por lo tanto, se concluye que la correlación que existe entre estas variables es muy alta. Con la ecuación obtenida se procedió al cálculo de los datos faltantes en los diferentes meses de precipitación de la estación Totorillas. En la Tabla 8 se presenta la estación resaltado en negrita los valores con la información que fue completada.

**Tabla 8**  
**Valores de precipitaciones mensuales completas en la estación Totorillas en el periodo 2005 - 2015**

ESTACIÓN: TOTORILLAS												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	41,60	11,00	111,80	76,60	96,10	38,8	31	6,6	93,3	37,6	108,2	75,3
2013	31,20	64,40	63,30	5,40	45,50	2,9	34,7	22	16,5	64,1	9	30,3
2012	101	74,90	60,70	137,80	18,50	11,40	6,90	16,50	0,00	94,30	135,20	30,30
2011	73,8	60,2	154,1	32,3	29,1	32	26,7	13,6	52,1	57,7	59,5	59,5
2010	21,5	46,2	85,9	73,5	<b>54,41</b>	<b>44,85</b>	<b>47,56</b>	<b>16,57</b>	<b>35,28</b>	<b>27,41</b>	<b>124,43</b>	<b>72,19</b>
2009	44,1	43,1	21,1	77,1	25,9	8,5	7,7	50,1	16,6	50,1	16,6	<b>45,27</b>
2008	36,1	168,3	72,5	119	102,9	42	21,6	24	17,5	65	19,6	15
2007	47,4	17,4	112,6	53,6	31,4	30	10,5	48,5	0	16,2	32,4	21,8
2006	51,8	52,1	97,1	78,4	4	51,6	2,8	22,9	4,1	63,9	83	98,1
2005	280,6	<b>44,93</b>	<b>93,19</b>	<b>52,21</b>	<b>36,04</b>	<b>30,03</b>	<b>12,42</b>	<b>9,63</b>	<b>19,36</b>	<b>44,25</b>	<b>34,35</b>	<b>104,36</b>

#### 4.2.1.2. Método Aleatorio Simple

Se asigna aleatoriamente un valor recogido en la muestra de la variable a completar. Conserva la distribución de los respondientes pero no considera si es factible la imputación ni la correlación con otras variables. Es un método estocástico.

Por lo general el procedimiento Hot Deck o aleatorio simple, tiene un proceso de clasificación asociado a él. Todas las unidades de la muestra están clasificadas en grupos disjuntos de forma que las unidades sean lo más homogéneas posibles dentro de los grupos. A cada valor que falte, se le asigna un valor del mismo grupo. Así la suposición que se está utilizando es que dentro de cada grupo de clasificación la no respuesta sigue la misma distribución que los que responden. Las variables de clasificación han de estar correlacionadas con los valores que falten y con los valores de los que contestan. Si esto no se mantiene, el procedimiento aleatorio simple puede llevar a resultados erróneos (Otero, D., 2011).

Para explicar este método se utilizó la estación Totorillas, sin embargo, se cambió la variable a rellenar que para este caso fue la velocidad del viento en el periodo 2005-2014.

Es necesario aclarar que el método aleatorio se utilizó debido a que la correlación entre las variables era moderada por tanto se requirió buscar



otros métodos que se ajusten a esta correlación y lograr el objetivo de rellenar los datos meteorológicos correctamente.

Como se manifestó anteriormente este método consiste en rellenar la tabla con cifras aleatorias que estén entre el rango de valores mensuales que registró la estación durante ese periodo, a continuación se presentan las Tablas 9 y 10 con la información faltante e información completa respectivamente de la estación en cuestión. Las celdas que contienen datos que fueron completados están resaltadas en negrita en la Tabla 10.

**Tabla 9**  
**Velocidad del Viento Mensual de la estación que requiere el relleno de datos**

ESTACIÓN: TOTORILLAS												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	5,80	5,30	5,90	5,90	5,40	5,3	5	5,7	5,4	4	4,6	4,1
2013	4,80	3,30	4,20	5,30	3,80	6,1	6,6	5,5	4,4	6,4	6,3	7,6
2012	4,2	5,40	4,90	4,90	5,20	5,10	6,50	6,50	5,10	5,10	3,80	4,90
2011	5,3	6,7	4,7	6	6,1	4,8	5,8	5,4	5,9	5,4	4,6	
2010	4,3	6,8	6,2	6,5								
2009	4,1	5,1	4,6	4,4	5,3	4,6	5	5,3	4,9			
2008	5,6											
2007	3,8	4,1	4,7	3,3	3,9	4						
2006	2,4	4,3	3,5	3,9	3,8	3,6						
2005	6,9											

Fuente: (INAMHI, 2015)

**Tabla 10**  
**Velocidad del Viento Mensual completas de la estación Totorillas**

ESTACIÓN: TOTORILLAS												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	5,80	5,30	5,90	5,90	5,40	5,30	5,00	5,70	5,40	4,00	4,60	4,10
2013	4,80	3,30	4,20	5,30	3,80	6,10	6,60	5,50	4,40	6,40	6,30	7,60
2012	4,20	5,40	4,90	4,90	5,20	5,10	6,50	6,50	5,10	5,10	3,80	4,90
2011	5,30	6,70	4,70	6,00	6,10	4,80	5,80	5,40	5,90	5,40	4,60	<b>7,00</b>
2010	4,30	6,80	6,20	6,50	<b>4,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>
2009	4,10	5,10	4,60	4,40	5,30	4,60	5,00	5,30	4,90	<b>6,00</b>	<b>4,00</b>	<b>6,00</b>
2008	5,60	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>4,00</b>	<b>4,00</b>	<b>5,00</b>
2007	3,80	4,10	4,70	3,30	3,90	4,00	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>7,00</b>
2006	2,40	4,30	3,50	3,90	3,80	3,60	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>7,00</b>
2005	6,90	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>4,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>6,00</b>	<b>5,00</b>	<b>4,00</b>	<b>5,00</b>	<b>6,00</b>

El análisis de los datos climáticos para detectar cambios y tendencias es más fiable cuando se utilizan conjuntos de datos homogeneizados. Es decir, se realiza un control de calidad de los datos rellenados mediante la validación de los mismos.

#### 4.2.2. Homogenización

En un conjunto de datos climáticos homogéneo todas las fluctuaciones contenidas en su serie temporal reflejan la variabilidad y el cambio reales del elemento climático representado.

La mejor manera de mantener la homogeneidad del registro es evitar cambios en la recopilación, el tratamiento, la transmisión y el proceso de los datos (WMO, 2011).

Para la validación de los datos que fueron completados mediante los métodos anteriores se realizó la prueba de rachas para determinar si la variable es aleatoria y la curva de doble masa para demostrar la relación que existe entre variables.

##### 4.2.2.1. Prueba de Rachas

Para realizar esta prueba, se establece la hipótesis acerca de la mediana, sabiendo que la mediana deja por encima de sí el mismo número de valores que por debajo. Considerando que  $x_i - Med > 0$ , darán signos positivos (+) y  $x_i - Med < 0$  signos negativos (-), se tratará de ver hasta qué punto el número de signos (+) está dentro de lo que cabe esperar que ocurra por azar si el valor propuesto como mediana es verdadero.

Si al realizar la diferencia entre los datos y la mediana se obtiene un valor de cero, a éste no se le considera al momento de contabilizar el número de signos.

Si  $n < 30$ , se utiliza la ley binomial (distribución de probabilidad discreta que cuenta el número de éxitos en una secuencia de  $n$  ensayos); si  $n > 30$ , se utiliza la aproximación mediante la ley normal  $Z = \frac{X - \frac{n}{2}}{\frac{\sqrt{n}}{2}} \sim N(0,1)$ , para determinar la confiabilidad de los datos rellenados (Galindo, 2010).

Castillo & Sentis (2001) consideran que NA es el número de valores por encima de la mediana de la serie y NB los valores por debajo. Por definición

NA = NB y le corresponden un número determinado de rachas con probabilidad de excedencia entre 10% y 90% de que sean homogéneas. Estos valores dependen del número de elementos que posea la serie, mismos que se muestran en la Tabla 11:

**Tabla 11**  
**Número de Rachas desarrollado por Thom**

NA	P 10%	P 90%
10	8	13
11	9	14
12	9	16
13	10	17
14	11	18
15	12	19
16	13	20
17	14	21
18	15	22
19	16	23
20	16	25
25	22	30
30	26	36
35	31	41
40	35	47
45	40	52
50	45	57

Fuente: (Castillo & Sentis, 2001)

Los datos utilizados para explicar la prueba de rachas fueron las precipitaciones mensuales antes completadas de la estación Totorillas. Con dichos valores se procedió a calcular la mediana y se comparó con los valores mensuales del mismo año. En la Tabla 12 se expresan las medianas calculadas mismas que se utilizaron para esta prueba.

**Tabla 12**  
**Cálculo de la Mediana Anual de Precipitación con los valores de la Estación Totorillas**

ESTACIÓN: TOTORILLAS													MEDI ANA
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2014	41,6	11,0	111,8	76,6	96,1	38,8	31	6,6	93,3	37,6	108,2	75,3	58,45
2013	31,2	64,4	63,3	5,40	45,5	2,9	34,7	22	16,5	64,1	9	30,3	30,75
2012	101	74,9	60,7	137,8	18,5	11,4	6,90	16,5	0,00	94,3	135,2	30,30	45,5
2011	73,8	60,2	154,1	32,3	29,1	32	26,7	13,6	52,1	57,7	59,5	59,5	54,9
2010	21,5	46,2	85,9	73,5	<b>54,41</b>	<b>44,85</b>	<b>47,56</b>	<b>16,57</b>	<b>35,28</b>	<b>27,41</b>	<b>124,43</b>	<b>72,19</b>	46,88
2009	44,1	43,1	21,1	77,1	25,9	8,5	7,7	50,1	16,6	50,1	16,6	<b>45,27</b>	34,5
2008	36,1	168,3	72,5	119	102,9	42	21,6	24	17,5	65	19,6	15	39,05
2007	47,4	17,4	112,6	53,6	31,4	30	10,5	48,5	0,00	16,2	32,4	21,8	30,7
2006	51,8	52,1	97,1	78,4	4	51,6	2,8	22,9	4,1	63,9	83	98,1	51,95
2005	280,6	<b>44,93</b>	<b>93,19</b>	<b>52,21</b>	<b>36,04</b>	<b>30,03</b>	<b>12,42</b>	<b>9,63</b>	<b>19,36</b>	<b>44,25</b>	<b>34,35</b>	<b>104,36</b>	40,15

En las Tablas 13 y 14 se observan las medianas de los años 2005, 2009 y 2010 utilizadas para la prueba de rachas, ya que pertenecen a los años en que los datos fueron rellenados.

**Tabla 13**  
**Mediana de los años rellenados de la Estación Totorillas**

MEDIANA MENSUAL															
AÑO	ALAO	TOTORILLAS	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2010	37,70	46,88	2010	21,50	46,20	85,90	73,50	54,42	44,85	47,56	16,58	35,29	27,41	124,43	72,20
2009	33,95	34,50	2009	44,10	43,10	21,10	77,10	25,90	8,50	7,70	50,10	16,60	50,10	16,60	45,28
2005	30,20	40,15	2005	280,60	44,94	93,19	52,22	36,05	30,04	12,43	9,63	19,37	44,26	34,35	104,37

**Tabla 14**  
**Homogenización de datos con la prueba de rachas**

	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE	NA	NE			
	ENE	ENE	FEB	FEB	MAR	MAR	ABR	ABR	MAY	MAY	JUN	JUN	JUL	JUL	AGO	AGO	SEP	SEP	OCT	OCT	NOV	NOV	DIC	DIC			
2010	-	1	-	1	+	1	+	1	+	1	-	1	+	1	-	1	-	1	-	1	+	1	+	1			
2009	+	1	+	1	-	1	+	0	-	1	-	0	-	1	+	1	-	0	+	1	-	1	+	0			
2005	+	0	+	0	+	1	+	0	-	0	-	0	-	0	-	1	-	0	+	0	-	0	+	0			
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>			
<b>SUMA</b>	<b>NA</b>		<b>NS</b>																								
	18		22																								

En las tablas anteriores se muestra las rachas realizadas resultando un total de 18 rachas sobre la mediana (NA) de un total de 22 rachas (NS), por lo que según la Tabla 11 los datos tienen una probabilidad del 90% de estar correctas.

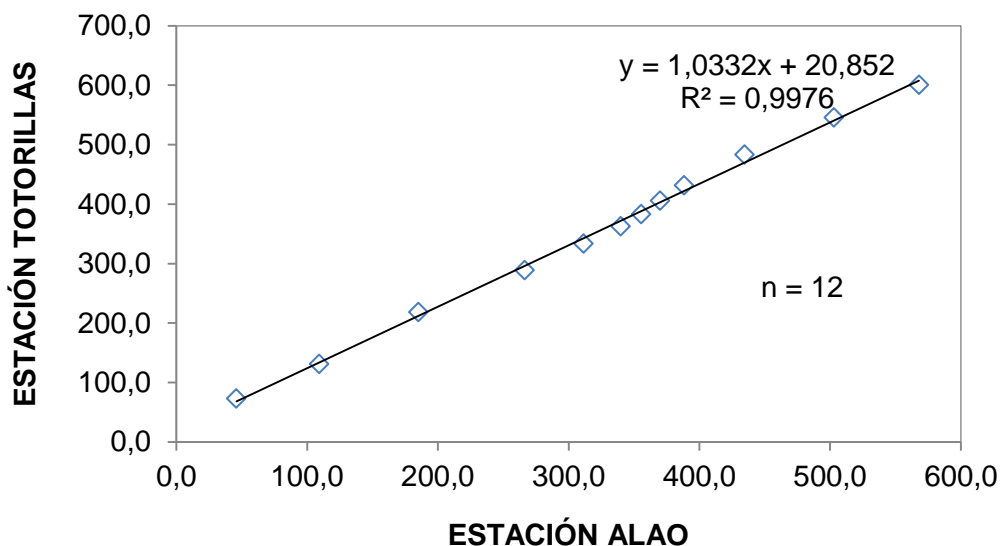
Una vez realizada la prueba de rachas se graficó la curva de masas para verificar si existe relación o no entre las variables utilizadas.

#### 4.2.2.2. Curva de doble masa

Este método permite demostrar de manera gráfica la relación que existe entre las variables climáticas, para períodos comunes de información.

Si la curva de doble masa presenta una tendencia lineal (constante) se asume que la serie de datos es homogénea, previamente hecha la prueba de rachas. En el caso de presentar desviaciones muy significativas o varias pendientes, se identifican los períodos para revisarlos y corregirlos y lograr la homogeneidad de los datos (Galindo, 2010).

En la Figura 26 se muestra la curva de doble masa realizado con los datos de precipitación acumulada de las estaciones Totorillas y Alao, para comprobar la homogeneidad de los datos.



**Figura 26 Curva de doble masa de precipitación entre las estaciones meteorológicas**

En la figura anterior se observa la relación que existe entre las variables de precipitación con una línea de tendencia lineal, por tanto se concluye que

los datos rellenos son confiables y pueden ser utilizados para el cálculo del balance hídrico.

### **4.3. Encuesta**

La encuesta que se aplicó a los habitantes de la comunidad Galte Laime y Yaguachi, proporcionó información acerca de:

- Número de habitantes de la zona
- Número de animales (ganado vacuno, bobino, etc.)
- Extensión de los terrenos (Hectáreas)
- Tipos de cultivos
- Lugares de donde obtienen el agua (ríos, acequias, lagos, lagunas, etc.)

La información que se recopiló mediante esta encuesta fue de ayuda para determinar el agua que requieren para sus animales, las personas de la comunidad y cultivos que realizan durante todo el año; además permitió calcular el tamaño del sistema de atrapanieblas que posteriormente se debe instalar para satisfacer la mayor cantidad de necesidades requeridas para esta comunidad. En el Anexo 1 se presenta la encuesta aplicada en la comunidad con la información completa.

### **4.4. Colectores de Niebla**

#### **4.4.1. Determinación de puntos de muestreo**

En el Cuadro 7 y 8 se indican las planillas llenas con la información sobre el sitio de colocación de cada atrapanieblas para el año 2014 y 2015 respectivamente.

**Cuadro 7**  
**Información de localización de los colectores de niebla en Noviembre de 2014**

# Área	# Sitio	# Colector	Coordenadas (m)		Orientación	Elevación (m)	Nombre observador
			E	N			
1	1	1	741380	9776688	N60°E	4094	Francisco Daquilema
1	1	2	741416	9776746	N60°E	4087	Francisco Daquilema
1	1	3	741170	9776939	N60°E	4148	Francisco Daquilema
1	1	4	741185	9776919	N60°E	4144	Francisco Daquilema
1	1	5	741227	9777075	N60°E	4151	Francisco Daquilema
1	1	6	741252	9777094	N60°E	4146	Francisco Daquilema
1	1	7	741270	9777062	N60°E	4138	Francisco Daquilema

**Cuadro 8**  
**Información de localización de los colectores de niebla en Diciembre de 2015**

# Área	# Sitio	# Colector	Coordenadas (m)		Orientación	Elevación (m)	Nombre observador
			E	N			
1	1	1	741172	9776890	N60°E	4151	Francisco Daquilema
1	1	2	741179	9776912	N60°E	4155	Francisco Daquilema
1	1	3	741187	9776920	N60°E	4155	Francisco Daquilema
1	1	4	741170	9776938	N60°E	4157	Francisco Daquilema
1	1	5	741230	9777080	N60°E	4161	Francisco Daquilema
1	1	6	741268	9777062	N60°E	4149	Francisco Daquilema
1	1	7	741252	9777090	N60°E	4164	Francisco Daquilema

En la Figura 27 se observa el mapa en que se localizó los puntos donde se colocaron los atrapanieblas en el año 2014, así como los puntos donde fueron reubicados en el 2015 debido a la cantidad de datos que indicaba en donde se recolectaba más agua de niebla, además del daño que sufrieron por los fuertes vientos por estar colocados a una altura mayor a 2m sobre el suelo.



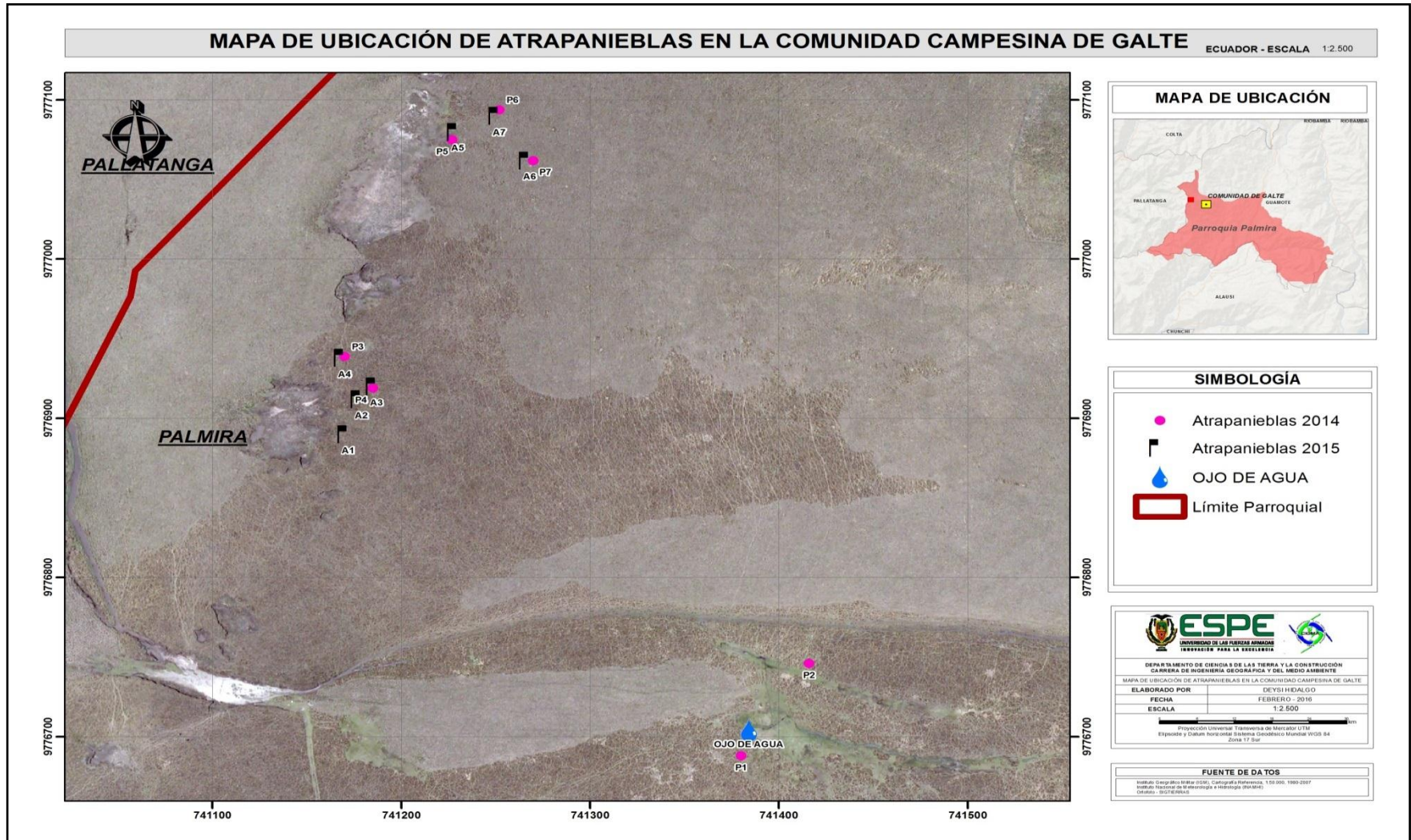


Figura 27. Mapa de ubicación de los Colectores de Niebla en el año 2014 y su reubicación en el año 2015

En el Cuadro 9 se presenta la información recopilada por cada atrapanieblas durante el periodo noviembre 2014 - marzo 2015, dicha información sirvió para localizar los nuevos puntos donde se reubicaron dos de los prototipos averiados.

**Cuadro 9**

**Agua recolectada por prototipo en el periodo noviembre 2014 - marzo 2015**

PROTOTIPO 2014	PROMEDIO AGUA RECOLECTADA (l/mes)					TOTAL LITROS RECOLECTADOS
	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15	
P1	7,00	14,00	9,00	11,00	10,00	51,00
P2	19,00	16,00	11,00	12,00	12,00	70,00
P3	18,50	27,00	17,00	21,00	15,00	98,50
P4	30,00	29,00	21,00	25,00	19,00	124,00
P5	13,00	24,00	15,00	20,00	17,00	89,00
P6	16,00	23,00	13,00	17,00	15,00	84,00
P7	25,00	29,00	15,00	18,00	15,00	102,00

Con estos datos se reubicaron dos de los atrapanieblas averiados, ya que, como se puede observar en la tabla anterior dos de los colectores no recogían una cantidad de agua significativa a diferencia de los otros cinco atrapanieblas que fueron colocados en sus mismos lugares dándoles mayor fijación y soporte para posteriores eventos climáticos.

En la Figura 28 se muestran los siete prototipos colocados inicialmente en Noviembre 2014, como observa estos se encuentran muy altos por lo que los fuertes vientos de la zona provocaron la caída de los mismos y el daño irreparable, debido a esto se realizó la instalación de nuevos prototipos.



a)

b)

c)



d)



e)



f)



g)

Figura 28. a) Prototipo 1, b) Prototipo 2, c) Prototipo 3, d) Prototipo 4, e) Prototipo 5, f) Prototipo 6, g) Prototipo 7

Con la reubicación de los prototipos, la cantidad de agua recolectada aumentó en los últimos meses como se observa en el Cuadro 10.

**Cuadro 10**

**Agua recolectada por prototipo en el periodo diciembre 2015 - febrero 2016**

PROTOTIPO 2015	PROMEDIO AGUA RECOLECTADA (l/mes)			TOTAL LITROS RECOLECTADOS
	dic-15	ene-16	feb-16	
A1	160,00	500,00	560,00	1220,00
A2	160,00	500,00	560,00	1220,00
A3	160,00	500,00	560,00	1220,00
A4	160,00	500,00	560,00	1220,00
A5	38,00	484,00	560,00	1082,00
A6	160,00	500,00	560,00	1220,00
A7	160,00	500,00	560,00	1220,00

En la Figura 29 se muestran los prototipos colocados en Diciembre 2015, como se puede observar estos se encuentran a 1,5m de altura para evitar el daño por la presencia de vientos del área en cuestión y lograr mayor captación de agua de niebla.



a)



b)



c)



d)

**Figura 29. a) Prototipo 1, b) Prototipo 2, c) Prototipo 3, d) Vista panorámica de los prototipos colocados**

Cabe mencionar que la toma de datos de cada prototipo se lo realiza aproximadamente cada 1 a 3 días debido a la distancia en que se ubican los colectores, por lo que los señores de la comunidad encargados del registro de los datos no se les hace posible subir diariamente, ya que también deben encargarse de sus negocios.

En el cuadro anterior se observa que la mayor cantidad de agua recolectada es de 20 litros, esto se debe a que la capacidad del recipiente es la misma que el agua recolectada, por lo que se puede concluir que en un periodo de tres días el tanque se llena completamente.

#### 4.4.2. Elaboración de los colectores de niebla y colocación de los prototipos.

##### 4.4.2.1. Tejido de Malla

Para asegurar que las mallas queden tensadas, se tejieron las mismas a un cable de acero y se colocaron tensores en los extremos de la malla (Figura 30).



Figura 30. Tejido y tensado de la malla

##### 4.4.2.2. Construcción de canaletas y almacenamiento de agua.

Como el agua se acumula en la red, las gotitas se unen para formar gotas más grandes que caen bajo la influencia de la gravedad, para esto, se colocó una canaleta (Tubo PVC) en la parte inferior del panel o marco, a la cual se le añadió una tapa para evitar derrames en un extremo y en el otro un codo de PVC, un embudo y la manguera conectada la que transporta el agua a un tanque de almacenamiento o cisterna (Figura 31).



Figura 31. Construcción de canaletas de los atrapanieblas

#### 4.4.2.3. Colocación de Colectores de Niebla

- Se cavó huecos de 1.5 m de profundidad para colocar los postes de madera, en dichos postes se procedió a clavar los tornillos cáncamos para tensar la malla (Figura 32).



**Figura 32. Moradores cavando los huecos y colaborando en el tensado de la malla**

- Se colocaron varillas de acero en la base de los postes de madera para que exista una mejor adhesión con el suelo y se forraron de plástico para evitar un desgaste.
- Se levantaron los postes con la ayuda de personas de la comunidad, la malla doble quedó elevada a 2m sobre el nivel del suelo (Figura 33).



**Figura 33. Colocación del Sistema Atrapanieblas**

- Una vez instalados todos los colectores se identificaron los mismos mediante numeración del 1 al 7.

#### **4.4.3. Capacitación y educación a la comunidad**

Se realizó un programa de capacitación y educación acerca de los colectores de niebla y del sistema de atrapanieblas en general, indicando las ventajas, funcionamiento y mantenimiento de los colectores de niebla. En complemento a la capacitación, se indicó a los dirigentes como llevar la medición de agua de niebla captada mediante el registro de los datos en una planilla de recolección de datos agua-niebla, para ello se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Rigurosidad en la toma de mediciones.
- Velocidad y dirección del viento (Tabla Beaufort)
- Lectura del recipiente graduado en mL y litros.
- Observaciones meteorológicas y de seguridad.
- Llenado de la ficha

Con la capacitación realizada se pretendió transferir los conocimientos acerca de esta nueva tecnología para captar agua, desde los materiales, la forma de colocar la malla e incluso el mantenimiento que se debe dar a los colectores para una mayor durabilidad, dándoles una opción para mejorar sus condiciones de vida.

En el Anexo 2 se presentan las hojas con la información recolectada en el periodo noviembre 2014 – marzo 2015, en el que se puede apreciar la cantidad de agua que recoge cada prototipo, así como la velocidad del viento en esta zona mediante el uso de la tabla de Beaufort que va desde moderado a fresco, es decir, el área de estudio presenta una velocidad del viento entre 5,5 y 13,8 m/s.

#### **4.5. Calculo de Precipitación, Evaporación y Evapotranspiración**

Con la información meteorológica proporcionada por el INAMHI y posteriormente completada mediante métodos estadísticos, se procedió al cálculo de la precipitación, evaporación y evapotranspiración para conocer la cantidad de agua que dispone la zona de estudio. Dichas variables se explican a continuación.



#### 4.5.1. Precipitación

Existen varios métodos para calcular la precipitación media, mensual o anual, sin embargo, para el presente estudio se determinó la precipitación mediante información meteorológica obtenida del INAMHI, la cual posteriormente fue completada y validada. La información meteorológica que se utilizó para los próximos cálculos, entre ellas la precipitación pertenece a la estación Totorillas (Tabla 15)

**Tabla 15**  
**Precipitación Anual en el periodo 2005 – 2014 registrada en la Estación Meteorológica Totorillas**

ESTACIÓN: TOTORILLAS													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
2014	41,6	11,0	111,8	76,6	96,1	38,8	31	6,6	93,3	37,6	108,2	75,3	727,9
2013	31,2	64,4	63,3	5,40	45,5	2,9	34,7	22	16,5	64,1	9	30,3	389,3
2012	101	74,9	60,7	137,8	18,5	11,4	6,9	16,5	0,00	94,30	135,2	30,3	687,5
2011	73,8	60,2	154,1	32,3	29,1	32	26,7	13,6	52,1	57,7	59,5	59,5	650,6
2010	21,5	46,2	85,9	73,5	54,41	44,85	47,56	16,57	35,28	27,41	124,43	72,19	649,83
2009	44,1	43,1	21,1	77,1	25,9	8,5	7,7	50,1	16,6	50,1	16,6	45,2	406,17
2008	36,1	168,3	72,5	119	102,9	42	21,6	24	17,5	65	19,6	15	703,5
2007	47,4	17,4	112,6	53,6	31,4	30	10,5	48,5	0	16,2	32,4	21,8	421,8
2006	51,8	52,1	97,1	78,4	4	51,6	2,8	22,9	4,1	63,9	83	98,1	609,8
2005	280,6	44,93	93,19	52,21	36,04	30,03	12,42	9,63	19,36	44,25	34,35	104,36	761,44
MAX	280,6	168,3	154,1	137,8	102,9	51,6	47,56	50,1	93,30	94,3	135,2	104,37	
MIN	21,5	11,00	21,1	5,40	4,0	2,9	2,8	6,6	0,00	16,2	9,0	15,0	
$\bar{X}$	72,91	58,25	87,23	70,59	44,39	29,21	20,19	23,04	25,48	52,06	62,23	55,21	

#### 4.5.2. Evaporación

Según el Estudio de Riego y Drenaje realizado por la FAO en el 2006; la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del

cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un completo período de cultivo o un año.

Como una hectárea tiene una superficie de 10 000 m<sup>2</sup> y 1 milímetro es igual a 0,001 m, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m<sup>3</sup> de agua por hectárea. Es decir, 1 mm día<sup>-1</sup> es equivalente 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

En la Tabla 16 se resume las unidades usadas para expresar la evapotranspiración y los factores de conversión entre ellas.

**Tabla 16**  
**Factores de conversión para expresar evapotranspiración**

UNIDADES	Altura de Agua	Volumen por unidad de Área		Energía por unidad de área
	mm/día	m <sup>3</sup> /ha día	l/s ha	MJ/m <sup>2</sup> día
1 mm/día	1	10	0,116	2,45
1 m <sup>3</sup> /ha día	0,1	1	0,012	0,245
1 l/s ha	8,640	86,40	1	21,17
1 MJ/m <sup>2</sup> día	0,408	4,082	0,047	1

Fuente: (FAO, 2006)

#### 4.5.2.1 Nomograma de Wilson

El cálculo de la Evaporación, se facilita mediante la aplicación del nomograma de Wilson, el cual requiere de los siguientes datos:

- Temperatura del aire Ta, °C.
- Relación de nubosidad, n/D.

Dónde:

n = número de horas del sol reales en el mes en cuestión.

D = número de horas del sol posibles, es decir, el que se tendría si no hubiera nubes en todo el día.

El valor de n puede estimarse a partir de información meteorológica y D según la latitud y la época del año con la Tabla 17

**Tabla 17**  
**Valores de D en h**

Latitud	N	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
	Jul 17	19	17	18	17	16	13	11	13	12	13	14
N o S	S	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	Ene 15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
10	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
20	13,2	12,7	12,2	11,7	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,6	13,1	13,3
30	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
40	14,6	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,8	13,2	14,3	15,0
50	15,9	14,2	12,5	10,6	9,0	8,1	8,5	9,9	11,7	13,6	15,3	16,3
60	18,0	15,3	12,7	10,0	7,4	5,9	6,6	8,7	11,5	14,3	17,0	18,7
70	24,0	17,6	13,2	8,8	3,6	0	0	6,7	11,3	15,2	21,3	24,0
80	24,0	24,0	14,6	4,2	0	0	0	0	11,2	20,2	24,0	24,0
90	24,0	24,0	24,0	0	0	0	0	0	0	24,0	24,0	24,0

Fuente: (Aparicio, 2012)

- c)  $R_c$ , que puede calcularse también en función de la latitud y la época del año con la Tabla 18
- d) La humedad relativa h, en %.

**Tabla 18**  
**Valores de Rc, g cal/cm<sup>2</sup> día**

Latitud	Mar 21	Abr 13	May 6	May 29	Jun 22	Jul 15	Ago 8	Ago 31	Sep 23	Oct 16	Nov 8	Nov 30	Dic 22	Ene 13	Feb 4	Feb 26
<b>N 90</b>		436	795	1029	1109	1024	788	431								
<b>80</b>	100	436	783	1014	1092	1009	777	431	158	7						7
<b>70</b>	310	541	771	967	1012	962	764	535	312	133	25				25	135
<b>60</b>	460	654	833	962	1008	957	825	648	455	281	150	74	50	75	150	284
<b>50</b>	592	754	893	987	1019	983	885	747	585	426	295	210	181	211	298	432
<b>40</b>	707	831	937	1001	1021	996	928	822	697	561	442	358	326	361	447	570
<b>30</b>	798	891	957	996	1004	989	949	882	788	683	581	507	480	509	585	690
<b>20</b>	866	921	951	963	963	958	943	911	856	788	706	646	623	649	712	792
<b>10</b>	908	924	920	907	899	903	913	914	897	860	813	770	755	775	819	870
<b>0</b>	922	899	862	828	814	824	855	889	912	913	898	877	868	881	904	923
<b>S 10</b>	908	849	783	728	708	725	776	838	897	937	954	959	961	964	964	949
<b>20</b>	866	773	680	611	584	608	674	763	856	934	987	1017	1029	1023	997	946
<b>30</b>	798	674	559	479	449	477	554	665	788	903	993	1051	1072	1056	1002	915
<b>40</b>	707	554	425	339	306	338	421	549	697	844	972	1058	1091	1063	982	853
<b>50</b>	592	420	284	199	170	198	282	416	585	766	928	1044	1088	1048	936	775
<b>60</b>	460	277	144	70	48	70	143	274	455	663	865	1113	1077	1022	872	672
<b>70</b>	316	131	24				24	130	312	518	801	1023	1113	1028	809	555
<b>80</b>	166							7	158	442	814	1072	1166	1077	820	447
<b>90</b>										442	825	1088	1183	1094	833	447

Fuente: (Aparicio, 2012)

Una vez obtenida la información necesaria se procedió al cálculo de la Evaporación mediante el Nomograma de Wilson, el cual se muestra en la Figura 34.

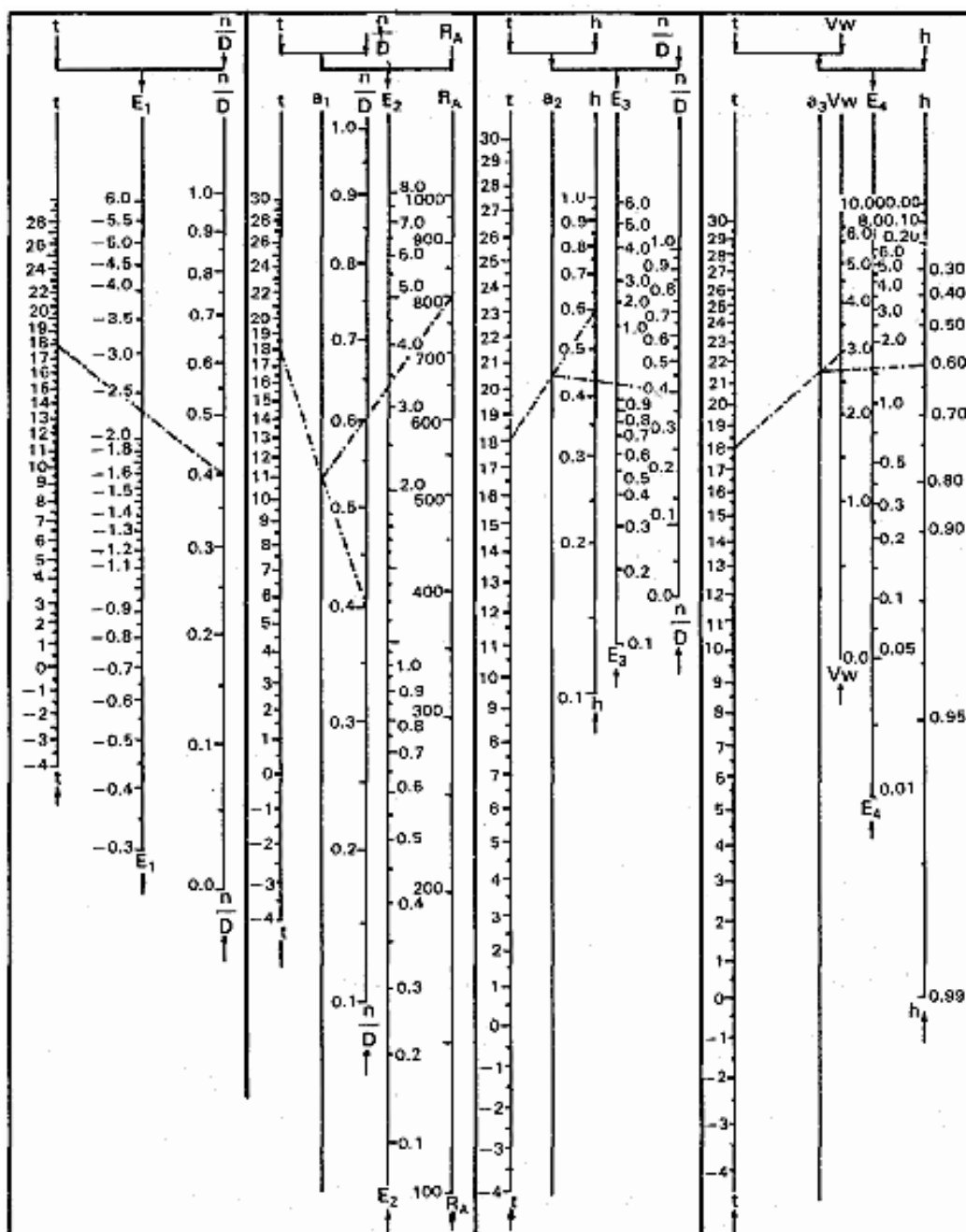


Figura 34. Nomograma de Wilson para Evaporación

Fuente: (Aparicio, 2012)

Para facilitar el cálculo de evaporación se generó una tabla con la información meteorológica necesaria, como: temperatura, humedad, velocidad del viento y horas de sol, además, hay que tomar en cuenta que los datos completos se consiguió mediante el relleno de datos para que el resultado de evaporación sea lo más apegado a la realidad. En el Cuadro 11

se muestra el porcentaje de confianza de los datos validados de cada parámetro meteorológico de acuerdo a Bisquerra (1989).

**Cuadro 11**

**Porcentaje de confiabilidad de los parámetros meteorológicos**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UND</b>	<b>% CONFIANZA</b>	<b>CORRELACIÓN<sup>a</sup></b>
Precipitación	mm	90	MUY ALTA
Temperatura	°C	93,62	MODERADA
Humedad Relativa	%	80,37	MODERADA
Velocidad Del Viento	m/s	88,37	ALTA
Heliofanía	horas	77,91	ALTA

<sup>a</sup>Fuente: Bisquerra (1989)

Como se observa en el cuadro anterior el porcentaje de confianza más bajo es de heliofanía, aun así se utilizó para calcular la evaporación ya que no es un valor muy bajo y la información de otras estaciones meteorológicas era muy poca para realizar el relleno de datos.

En las Tablas 19 y 20 se observan los parámetros utilizados en el nomograma de Wilson, así como la Evaporación total.

Tabla 19

Datos meteorológicos necesarios para la aplicación del Nomograma de Wilson del año 2005 al 2014.

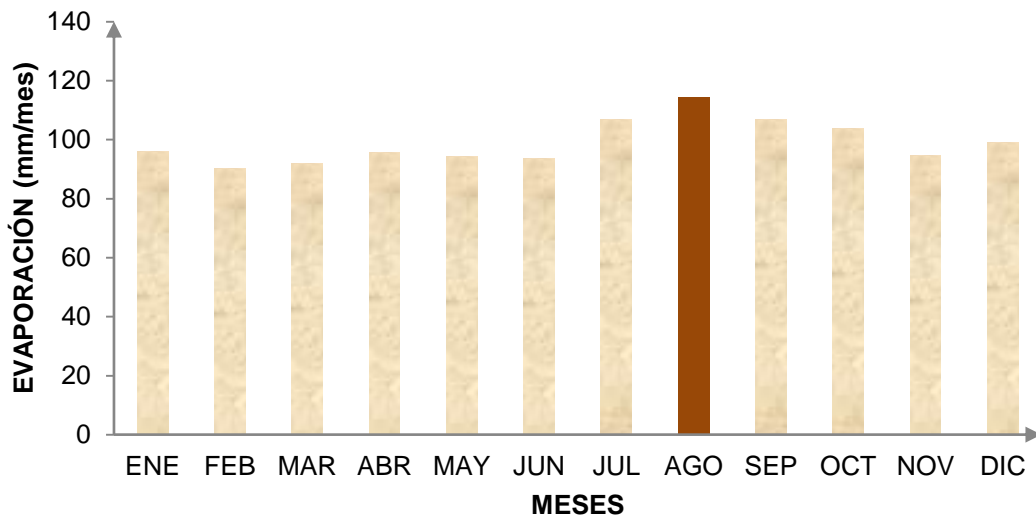
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>T MEDIA MENSUAL</b>	°C	10,73	10,88	11,02	11,27	11,09	10,85	10,82	10,93	11,00	11,01	11,00	11,48
<b># DE HORAS DE SOL (MENSUAL)</b>	h	98,85	106,16	93,44	103,76	115,61	141,87	142,95	151,64	125,39	127,14	120,46	115,23
<b># DE HORAS DE SOL (DÍA)</b>	n	3,19	3,79	3,01	3,46	3,73	4,73	4,61	4,89	4,18	4,10	4,02	3,72
<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	m/s	4,72	5,18	4,86	5,02	4,77	5,00	5,65	5,66	5,23	5,17	4,79	5,57
<b>RADIACIÓN SOLAR Rc</b>	°0	881	904	922	899	862	814	824	855	912	898	877	868
<b>HUMEDAD RELATIVA</b>	%	83	81	82	82	80	79	75	76	77	78	79	78
<b>VALOR DE "D"</b>	°0	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10	12,10
<b>RELACIÓN</b>	n/D	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabla 20

Evaporación Total obtenida mediante el Nomograma de Wilson

<b>EVAPORACIÓN 1</b>	-1,45	-1,46	-1,24	-1,47	-1,45	-1,7	-1,67	-1,7	-1,45	-1,45	-1,45	-1,46
<b>EVAPORACIÓN 2</b>	2,9	3	2,65	3	2,8	3	3	3,3	3,1	2,9	2,9	2,7
<b>EVAPORACIÓN 3</b>	0,7	0,7	0,57	0,7	0,7	0,82	0,81	0,84	0,71	0,7	0,7	0,75
<b>EVAPORACIÓN 4</b>	0,95	0,98	0,98	0,96	0,99	1	1,3	1,25	1,2	1,2	1	1,2
<b>EVAPORACIÓN TOTAL (mm/día)</b>	3,1	3,22	2,96	3,19	3,04	3,12	3,44	3,69	3,56	3,35	3,15	3,19
<b>Días del mes</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
<b>EVAPORACIÓN TOTAL (mm/mes)</b>	96,1	90,16	91,76	95,7	94,24	93,6	106,64	114,39	106,8	103,85	94,5	98,89

Con los resultados de la Tabla 20 se graficó la evaporación total en función de cada mes del año, la cual se muestra en la Figura 35.



**Figura 35 . Evaporación total mensual (mm/mes)**

Como se observa en la figura anterior el mes de Agosto presenta mayor cantidad de agua evaporada, además que tiene alta presencia de sol al día con respecto a los meses restantes.

#### **4.5.3. Evapotranspiración (ET)**

El conocimiento de la evapotranspiración es un factor determinante en el diseño de sistemas de riego. Para el cálculo de la ET, se usan fundamentalmente dos métodos: el de Thornthwaite y el de Blaney-Criddle. El primero toma en cuenta sólo la temperatura media mensual, por lo que arroja resultados estimativos que pueden usarse para estudios preliminares, mientras que el segundo se aplica a casos específicos. A continuación se presentan los métodos antes mencionados (Aparicio, F., 2012).

##### **4.5.3.1. Método de Thornthwaite**

Este método calcula la ET mensual como una función de las temperaturas medias mensuales mediante la ecuación 3:

$$U_j = 1.6K_a \left( \frac{10T_j}{I} \right)^a \quad (3)$$

Dónde:

$U_j$  = ET en el mes j, en cm.

$T_j$  = temperatura media en el mes j, en °C.



$a, I = \text{constantes.}$

$Ka = \text{constante que depende de la latitud y el mes del año (Tabla 21)}$

Las constantes  $I$  (índice de eficiencia de temperatura) y  $a$  se calculan con las ecuaciones 4 y 6:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad (4)$$

Dónde  $i_j$  se obtiene con la ecuación 5:

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1,514} \quad (5)$$

y  $j = \text{número de mes.}$

**Tabla 21**  
**Constante Ka**

Latitud grados	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,01
10	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
20	0,95	0,90	1,03	1,05	1,12	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	0,93	0,91
30	0,90	0,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	0,98	0,89	0,88
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
45	0,80	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
50	0,74	0,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	0,92	0,76	0,70

Fuente: (Aparicio, 2012)

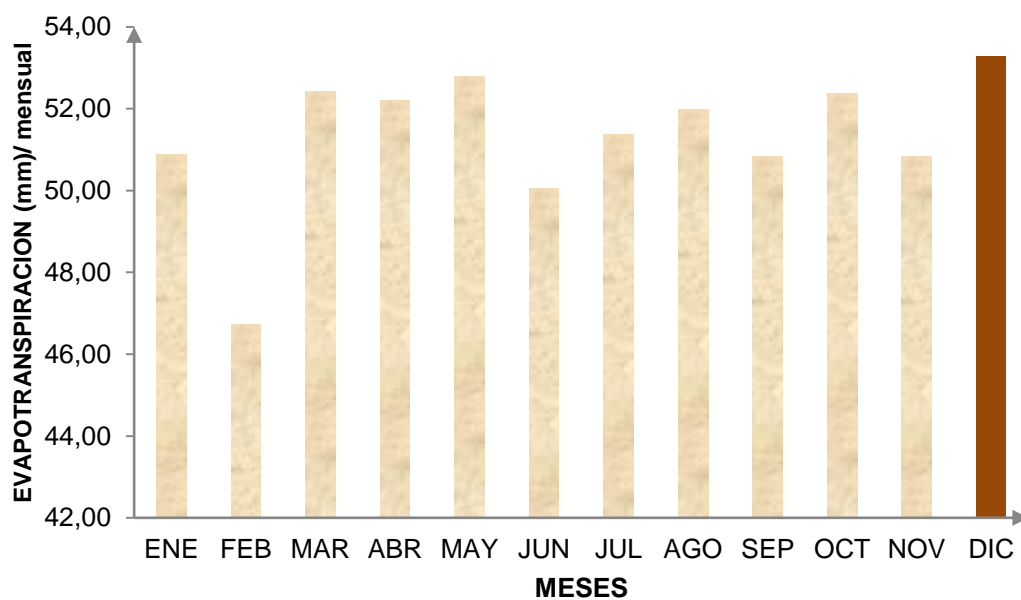
$$a = 675 * 10^{-9}I^3 - 771 * 10^{-7}I^2 + 179 * 10^{-4}I + 0,492 \quad (6)$$

La Tabla 22 indica la evapotranspiración calculada mediante este método junto con los parámetros utilizados para este caso.

**Tabla 22**  
**Evapotranspiración mediante el Método de Thornthwaite**

MES	Ti	ij	ka	Uj (cm)/ mes	Uj (mm)/ mes
ENE	10,73	3,18	1,04	5,09	50,89
FEB	10,88	3,24	0,94	4,67	46,71
MAR	11,02	3,31	1,04	5,24	52,41
ABR	11,27	3,42	1,01	5,22	52,20
MAY	11,09	3,34	1,04	5,28	52,80
JUN	10,85	3,23	1,01	5,01	50,05
JUL	10,82	3,22	1,04	5,14	51,38
AGO	10,93	3,27	1,04	5,20	51,98
SEP	11,00	3,30	1,01	5,08	50,82
OCT	11,01	3,30	1,04	5,24	52,37
NOV	11,00	3,30	1,01	5,08	50,82
DIC	11,48	3,52	1,01	5,33	53,29
<b>I</b>		39,63			
<b>a</b>		1,12			

En la Figura 36 se observa la evapotranspiración mensual, siendo el mes de Diciembre donde se pierde mayor cantidad de agua.



**Figura 36. Evapotranspiración total mensual (mm/mes)**

#### 4.5.3.2. Método de Blaney-Criddle

En este método se toma en cuenta además de la temperatura y las horas de sol diarias, el tipo de cultivo, la duración de su ciclo vegetativo, la temperatura de siembra y la zona.

El ciclo vegetativo de un cultivo es el tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha y, por supuesto, varía de cultivo a cultivo.

Si se desea estimar la ET durante un ciclo vegetativo completo, se emplea la ecuación 7:

$$E_t = K_g F \quad (7)$$

Dónde:

$E_t$  = evapotranspiración durante el ciclo vegetativo, cm.

$F$  = factor de temperatura y luminosidad.

$K_g$  = coeficiente global de desarrollo.

El coeficiente global de desarrollo  $K_g$  varía entre 0,5 y 1,2.

En el Cuadro 12 se muestran algunos de los valores de  $K_g$  para diversos cultivos.

**Cuadro 12**  
**Coeficiente global  $K_g$  para algunos cultivos**

Cultivo	Ciclo Vegetativo	Coeficiente global $K_g$ .
Cereales de grano pequeño (alpiste, avena, cebada, centeno, trigo)	3 a 6 meses	0,75 – 0,85
Frijol	3 a 4 meses	0,60 – 0,70
Haba	4 a 5 meses	0,60 – 0,70
Hortalizas	2 a 4 meses	0,60
Lechuga y col	3 meses	0,70
Lenteja	4 meses	0,60 – 0,70
Maíz	4 meses	0,60 – 0,70
Maíz	4 a 7 meses	0,75 – 0,85
Papa	3 a 5 meses	0,65 – 0,75
Tomate	4 a 5 meses	0,70 – 0,80
Zanahoria	2 a 4 meses	0,60

Fuente: (Aparicio, 2012)

El factor de temperatura y luminosidad  $F$  se calcula mediante la ecuación 8:

$$F = \sum_{i=1}^n f_j \quad (8)$$

Donde  $n$  = número de meses que dura el ciclo vegetativo y  $f_i$  se obtiene de la ecuación 9.

$$f_i = P_i \left( \frac{T_i + 17,8}{21,8} \right) \quad (9)$$

$P_i$  = porcentaje de horas de sol del mes  $i$  con respecto al año (Tabla 23)

$T_i$  = temperatura media del mes  $i$  en °C.

**Tabla 23**

**Porcentaje de horas de sol mensual con respecto al año en la Latitud Sur**

LAT	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	8,50	7,66	8,49	8,21	8,50	8,22	8,50	8,49	8,21	8,50	8,22	8,50
5	8,68	7,76	8,51	8,15	8,34	8,05	8,33	8,38	8,19	8,56	8,37	8,68
10	8,86	7,87	8,53	8,09	8,18	7,86	8,14	8,27	8,17	8,62	8,53	8,88
15	9,05	7,98	8,55	8,02	8,02	7,65	7,95	8,15	8,15	8,68	8,70	9,10
20	9,24	8,09	8,57	7,94	7,85	7,43	7,76	8,03	8,13	8,76	8,87	9,33
25	9,46	8,21	8,60	7,94	7,66	7,20	7,54	7,90	8,11	8,86	9,04	9,58
30	9,70	8,33	8,62	7,73	7,45	6,96	7,31	7,76	8,07	8,97	9,24	9,85
32	9,81	8,39	8,63	7,69	7,36	6,85	7,21	7,70	8,96	9,01	9,33	9,96
34	9,92	8,45	8,64	7,64	7,27	6,74	7,10	7,63	8,05	9,06	9,42	10,08
36	10,03	8,51	8,65	7,59	7,18	6,62	6,99	7,56	8,04	9,11	9,51	10,21
38	10,15	8,57	8,66	7,54	7,08	6,50	6,87	7,49	8,03	9,16	9,61	10,34
40	10,27	8,63	8,67	7,49	6,97	6,37	6,76	7,41	8,02	9,21	9,71	10,49
42	10,40	8,70	8,68	7,44	6,85	6,23	6,64	7,33	8,01	9,26	9,82	10,64
44	10,54	8,78	8,69	7,38	6,73	6,08	6,51	7,25	7,99	9,31	9,94	10,80
46	10,69	8,86	8,70	7,32	6,61	5,02	6,37	7,16	7,96	9,37	10,07	10,97

Fuente: (Aparicio, 2012)

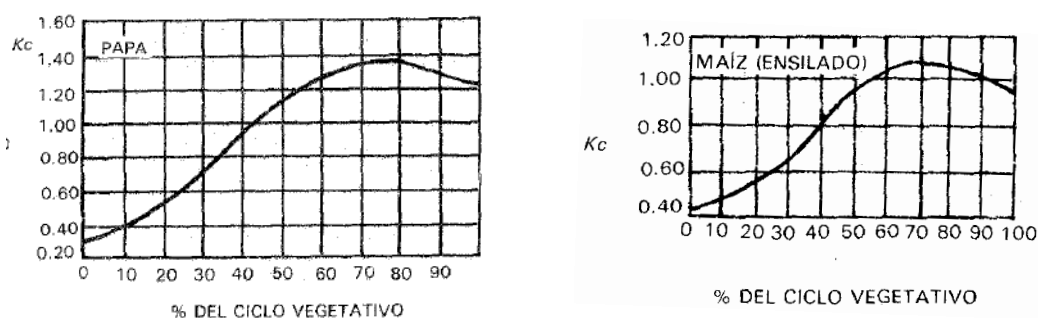
Cuando la zona es árida, los valores de  $f_i$  se multiplican por un factor de corrección  $K_{ti}$  que se calcula con la ecuación 10:

$$K_{ti} = 0,03114T_i + 0,2396 \quad (10)$$

Cuando se desea determinar los valores de evapotranspiración en períodos más cortos que un ciclo vegetativo, se usa la ecuación 11:

$$E_{ti} = Kc_i f_i \quad (11)$$

Donde  $E_{ti}$  es la evapotranspiración durante el período  $i$ ;  $f_i$  se calcula con la ecuación 9 con  $P_i$  y  $T_i$  correspondientes al período considerado y  $Kc_i$  es un coeficiente de desarrollo parcial. El coeficiente  $Kc_i$  se puede determinar mediante parcelas experimentales instaladas en el sitio de interés, o bien usando los valores medios mostrados en la Figura 37.



**Figura 37. Gráficas de coeficientes de desarrollo parcial**

Fuente: (Aparicio, 2012)

En la Guía Técnica del Cultivos publicada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (2008) se encuentran los periodos de siembra y cosecha de los cultivos antes mencionados. Para la papa se determinó que el ciclo vegetativo en invierno va desde septiembre a diciembre y en verano su ciclo va desde abril a julio; en el caso del maíz para la zona central del país se obtuvo que el periodo de siembra se realiza en los meses de septiembre a finales de noviembre y la época de cosecha se da dependiendo de la madurez que requiera el producto y puede cosecharse hasta 270 días después de su siembra. Con esta información se procedió al cálculo de la evapotranspiración para estos cultivos, la misma que se muestra en las Tablas 24 y 25.

**Tabla 24**  
Evapotranspiración para diferentes periodos de cultivo de la papa

MESES	Kci	Eti (cm)	Eti (mm)
VERANO			
ABR	0,60	6,57	65,68
MAY	1,15	12,95	129,53
JUN	1,35	14,58	145,85
JUL	1,25	13,95	139,50
INVIERNO			
SEPT	0,60	6,51	65,08
OCT	1,15	12,92	129,17
NOV	1,35	14,66	146,61
DIC	1,25	14,27	142,68

<b>INVIERNO</b>	48,35	483,54
<b>VERANO</b>	48,05	480,55

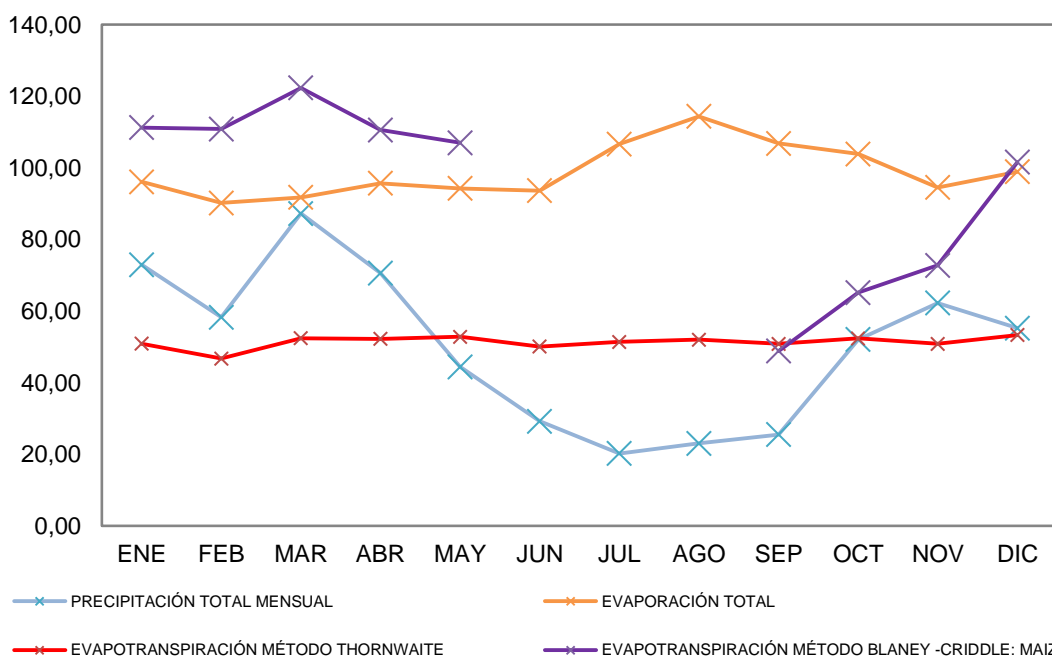
**Tabla 25**  
Evapotranspiración para diferentes periodos de cultivo del maíz

MESES	Kci	Eti (cm)	Eti (mm)
ENE	1,00	11,12	111,24
FEB	1,10	11,08	110,85
MAR	1,09	12,23	122,32
ABR	1,01	11,06	110,56
MAY	0,95	10,70	107,00
SEPT	0,45	4,88	48,81
OCT	0,58	6,51	65,15
NOV	0,67	7,28	72,76
DIC	0,89	10,16	101,59

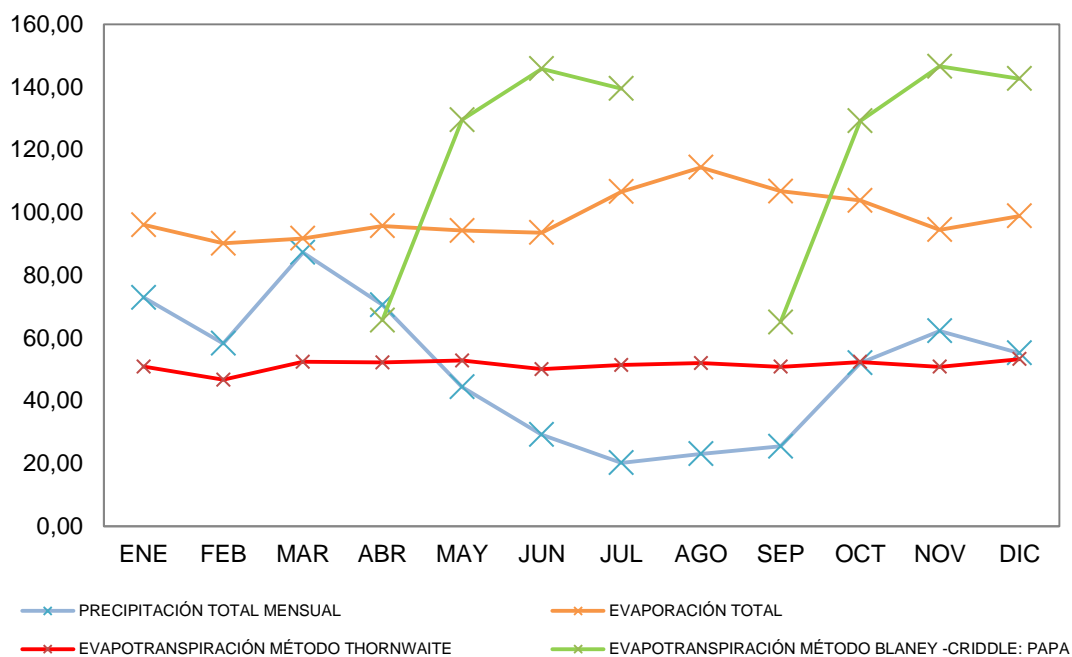
<b>Et (cm)</b>	85,03
<b>Et (mm)</b>	850,28

La cantidad de agua que evapotranspira el cultivo de papa en invierno es de 483,54mm, siendo los meses de Junio y Julio los que presentan mayor evapotranspiración debido a que la papa se encuentra en su etapa final de crecimiento. En la siembra de verano la evapotranspiración es de 480,55mm; así mismo los meses de Noviembre y Diciembre son los que mayor evapotranspiración presentan por ser la etapa final del cultivo.

Con respecto al maíz, este tiene un solo ciclo de cultivo que va desde septiembre a mayo, donde marzo es el mes en que más evapotranspiración existe y es de 122.32mm; además, es la época en que se cosecha el maíz como choclo, ya que días posteriores a esta el maíz se cosecha en seco y es destinado para otros fines. En la Figura 38 y 39 se observa que existe mayor evaporación y evapotranspiración del cultivo de papa y maíz que precipitación en la zona, lo cual no permite a los cultivos abastecerse de agua suficiente para un óptimo desarrollo, por lo que se comprobó que hay un déficit hídrico el cual se planteó disminuir mediante la aplicación del Sistema de Atrapanieblas.

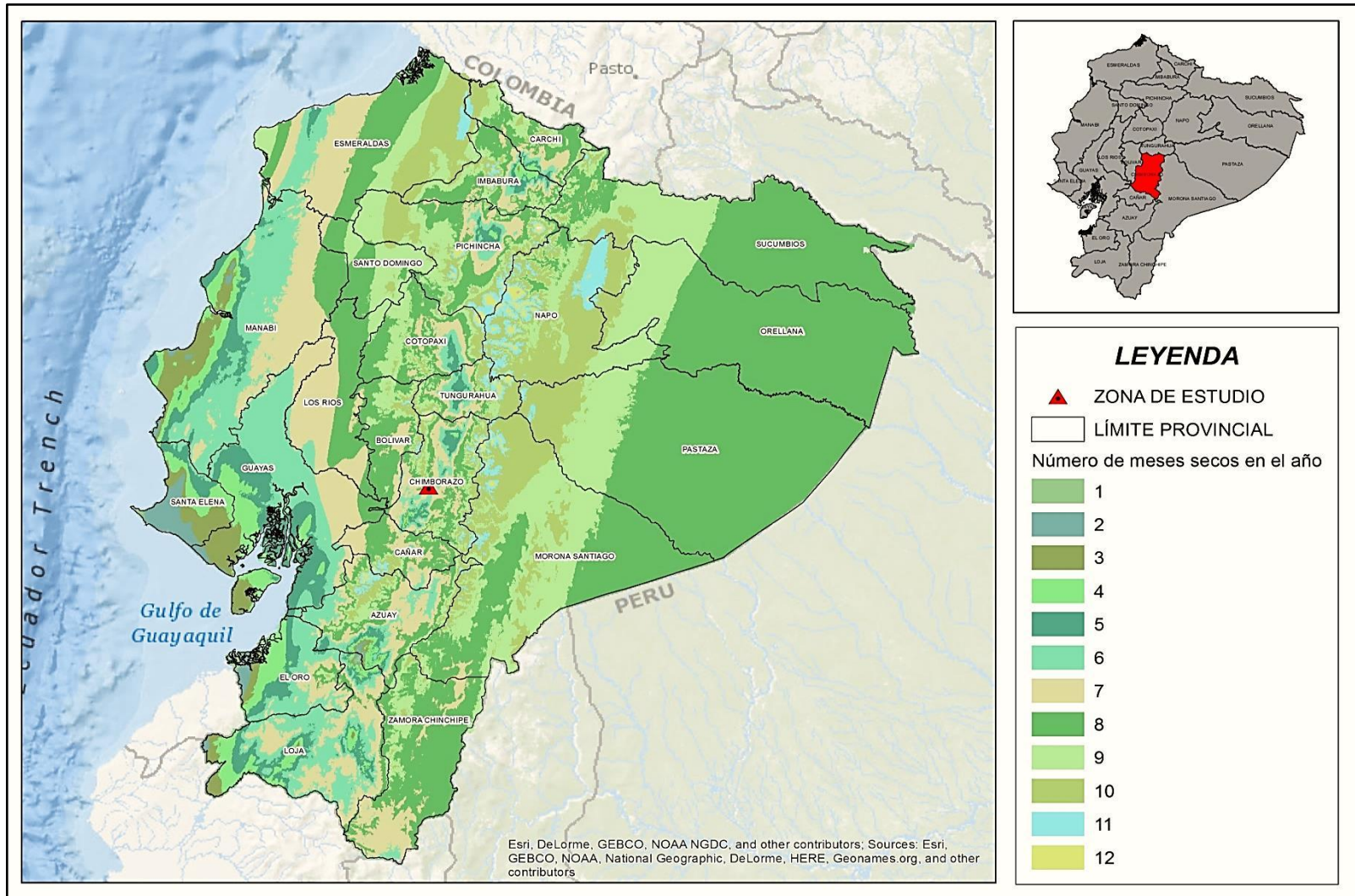


**Figura 38. Curva de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el cultivo de maíz**



**Figura 39. Curva de precipitación, evaporación y evapotranspiración para el cultivo de papa**

En la Figura 40 se observa el Mapa del Índice Ombrotérmico del Ecuador en el cual se indica que en la zona de estudio existe entre 6 a 8 meses con bajas precipitaciones.



**Figura 40. Mapa Ombrotérmico del Ecuador**

Fuente: (<http://patrimonio.ambiente.gob.ec/>)



#### **4.6. Diseño del Sistema de Atrapanieblas**

Para el diseño del Sistema de Atrapanieblas se tomó en cuenta la información obtenida de la encuesta realizada a la comunidad, así como los datos recopilados de los colectores de niebla.

Por lo tanto, para la implementación del Sistema de Atrapanieblas se propone dos diseños los cuales se detallan a continuación:

##### **4.6.1. Mediante los resultados de Evapotranspiración de los Cultivos**

Para este diseño se tomó en cuenta la cantidad de agua necesaria para el cultivo calculado por el método de Blaney - Criddle, descartando el agua aprovechada de la precipitación en la zona, para ello se realizó el cálculo de la precipitación efectiva que es uno de los factores necesarios para calcular la extracción de agua de un almacenamiento para riego y se obtuvo la cantidad de agua que realmente requiere el cultivo.

En el Cuadro 13 se presentan los datos de población, animales y cultivos que hay en la comunidad:

**Cuadro 13****Datos tabulados de la encuesta aplicada a la Comunidad**

POBLACIÓN	NÚMERO DE FAMILIAS	1360
	NÚMERO DE HOMBRES	620
	NÚMERO DE MUJERES	718
NÚMERO DE ANIMALES	GALLINAS	2300
	CUY	7000
	OVEJAS	3000
	CHANCHOS	350
	CONEJOS	50
	VACAS	1300
	CABALLOS Y BURROS	300
	MASCOTAS	1080
CULTIVOS (HECTÁREAS)	AVENA	20
	CEBADA	259
	CEBOLLA BLANCA	5
	CENTENO	30
	CHOCHO	50
	HABA SECA	10
	HABA TIERNA	70
	LECHUGA	3
	LENTEJA	50
	MAÍZ	40
	MASHUA	4
	MELLOCO	5
	NABO	3
	PAPA	200
	QUINUA	10
RÁBANO	4	
TRIGO	5	
ZANAHORIA	20	

Una vez obtenida la información de la comunidad se procedió a calcular la cantidad de agua necesaria para los cultivos, ya que, como los habitantes de las comunidades manifestaron ellos tienen agua para consumo y abrevadero de animales, sin embargo, el agua que requieren es para riego debido a las cortas épocas de lluvia que hay en la zona las cuales no permiten una correcta irrigación de los cultivos, por lo que el agua obtenida mediante la aplicación de esta técnica será destinada para algunos cultivos dependiendo de cuánta agua se logre recolectar.

En los Cuadros 14 y 15 se detalla la cantidad de agua que requieren los cultivos de papa y maíz por hectárea de terreno cultivado, pues como se mencionó anteriormente estos son los principales cultivos de la zona, y de ellos se realizó el cálculo de evapotranspiración para conocer cuánta agua demandan. El agua requerida por los cultivos inicialmente se presenta en mm/mes, y posteriormente es expresada en unidad de volumen como gasto en m<sup>3</sup>/día o L/s debido a que los atrapanieblas captan el agua en volumen por unidad de tiempo (L/día).

**Cuadro 14**

**Cantidad de agua necesaria para la papa en 200 hectáreas de cultivo en la comunidad**

MES	Agua requerida por el cultivo en 1ha				Agua requerida en 200ha de cultivo	
	(mm/mes)	(mm/día)	(m <sup>3</sup> /ha día)	(L/s ha)	m <sup>3</sup> /día 200ha	L/s 200ha
VERANO						
ABR	65,68	2,19	21,89	0,25	4378,67	50,79
MAY	129,53	4,18	41,78	0,48	8356,77	96,94
JUN	145,85	4,86	48,62	0,56	9723,33	112,79
JUL	139,5	4,50	45,00	0,52	9000,00	104,40
INVIERNO						
SEPT	65,08	2,17	21,69	0,25	4338,67	50,33
OCT	129,17	4,17	41,67	0,48	8333,55	96,67
NOV	146,61	4,89	48,87	0,57	9774,00	113,38
DIC	142,68	4,60	46,03	0,53	9205,16	106,78

**Cuadro 15**

**Cantidad de agua necesaria para el maíz en 40 hectáreas de cultivo en la comunidad**

MES	Agua requerida por el cultivo en 1ha				Agua requerida en 40ha de cultivo	
	(mm/mes)	(mm/día)	(m <sup>3</sup> /ha día)	(l/s ha)	m <sup>3</sup> /día 40ha	l/s 40ha
ENE	111,24	3,59	35,88	0,42	1435,35	16,65
FEB	110,85	3,96	39,59	0,46	1583,57	18,37
MAR	122,32	3,95	39,46	0,46	1578,32	18,31
ABR	110,56	3,69	36,85	0,43	1474,13	17,10
MAY	107	3,45	34,52	0,40	1380,65	16,02
SEPT	48,81	1,63	16,27	0,19	650,80	7,55
OCT	65,15	2,10	21,02	0,24	840,65	9,75
NOV	72,76	2,43	24,25	0,28	970,13	11,25
DIC	101,59	3,28	32,77	0,38	1310,84	15,21

Para la transformación de unidades de los requerimientos de agua antes presentados se utilizaron los factores de conversión de la Tabla 15. Como se observa en los cuadros anteriores la cantidad total de agua que requiere la papa es de 364,92 l/s en verano y 367,16 l/s en invierno, y para el maíz se requiere 130,20 l/s desde su etapa inicial hasta su cosecha.

En los cuadros anteriores se muestra un caso ideal del agua que requieren los cultivos, sin embargo, para tener información más apegada a la realidad se aplica la ecuación 12, la cual como se mencionó antes sirve para calcular la cantidad de agua que se debe extraer de un almacenamiento para regarlos.

$$D_i = E_{ti} Ar - h_{pi} Ar + h_{evi} A_{co} + W_i \quad (12)$$

Dónde:

$Ar$  = área de riego

$h_{pi}$  = altura de precipitación media en la zona de riego en el periodo  $i$ .

$A_{co}$  = área superficial de las conducciones (presas derivadoras, canales, tanques de almacenamiento temporal, etc.).

$W_i$  = volumen de desperdicio.

$h_{evi}$  = altura de evaporación media en la zona de riego en el periodo  $i$ .

Para el cálculo de  $hpi$  se utilizó la información de la Tabla 26 que indica los coeficientes de lluvia efectiva propuestos por Aguilera y Martínez (1980), la cual se muestra a continuación:

**Tabla 26**  
**Coeficientes de lluvia efectiva**

<b>Coeficientes de Lluvia Efectiva según Blaney - Criddle</b>							
Lluvia mensual caída (mm)	25	50	75	100	125	150	>150
Coeficiente de aprovechamiento	0,95	0,90	0,82	0,65	0,45	0,25	0,05

Fuente: (Aguilera y Martínez, 1980)

En los Cuadros 16 y 17 se presenta los datos de las variables necesarias para el cálculo de  $Di$  tanto para el maíz como para la papa, así como la cantidad de agua para extraer del almacenamiento, sin embargo, en vista que la zona de estudio cuenta con poca canalización de agua para riego, en este caso no se consideran los factores  $Wi$  (desperdicios por evaporación y por fugas) y  $Aco$  (área superficial de las conducciones), no obstante, cuando se realicen los proyectos de riego serán datos importantes a considerar en el cálculo de  $Di$ .

**Cuadro**  
**Calculo de  $Di$  para el Cultivo de papa**

16

Mes	$Eti$ (m)	$Ar$ (m <sup>2</sup> )	$hpi$ (m)	$Di$ (m <sup>3</sup> /mes)	$Di$ (m <sup>3</sup> /día)
ABR	0,0657	2000000	0,06	15629,52	520,98
MAY	0,1295	2000000	0,04	179104,07	5777,55
JUN	0,1458	2000000	0,03	239024,01	7967,47
JUL	0,1395	2000000	0,02	240641,15	7762,62
SEPT	0,0651	2000000	0,02	84344,09	2811,47
OCT	0,1292	2000000	0,04	173026,23	5581,49
NOV	0,1466	2000000	0,05	191144,95	6371,50
DIC	0,1427	2000000	0,05	194848,89	6285,45

**Cuadro 17**  
**Calculo de Di para el Cultivo de maíz**

Mes	$E_{ti}$ (m)	$A_r$ ( $m^2$ )	$h_{pi}$ (m)	$D_i$ ( $m^3/mes$ )	$D_i$ ( $m^3/día$ )
ENE	0,11	400000	0,06	20565,52	663,40
FEB	0,11	400000	0,05	25212,79	900,46
MAR	0,12	400000	0,06	26240,38	846,46
ABR	0,11	400000	0,06	105429,52	3514,32
MAY	0,11	400000	0,04	26820,81	865,19
SEPT	0,05	400000	0,02	10348,82	344,96
OCT	0,07	400000	0,04	8965,25	289,20
NOV	0,07	400000	0,05	8708,99	290,30
DIC	0,10	400000	0,05	22529,78	726,77

En los cuadros anteriores se observa el agua que debe ser extraída para cada cultivo en sus diferentes etapas de crecimiento, el volumen mínimo de agua que requiere la papa es de 520,98  $m^3/día$  (520983,8 litros) y el maíz necesita 289,20  $m^3/día$  (289201,51 litros) de agua. Mediante este cálculo, se realizó el diseño del Sistema de Atrapanieblas para satisfacer las necesidades hídricas del maíz por ser el que requiere menos agua de los dos cultivos comparados.

El agua recolectada diariamente por los 7 prototipos es de 38,14L, es decir, que cada  $m^2$  de atrapanieblas en promedio recoge 5,45L de agua al día. En la primera y segunda columna del Cuadro 18 se muestra la cantidad de agua necesaria para cumplir parte de la demanda de agua requerida tanto en porcentaje como en litros, en la tercera columna se indica la extensión de malla requerida para construir los Sistemas de Atrapanieblas de acuerdo al porcentaje de agua demandada.

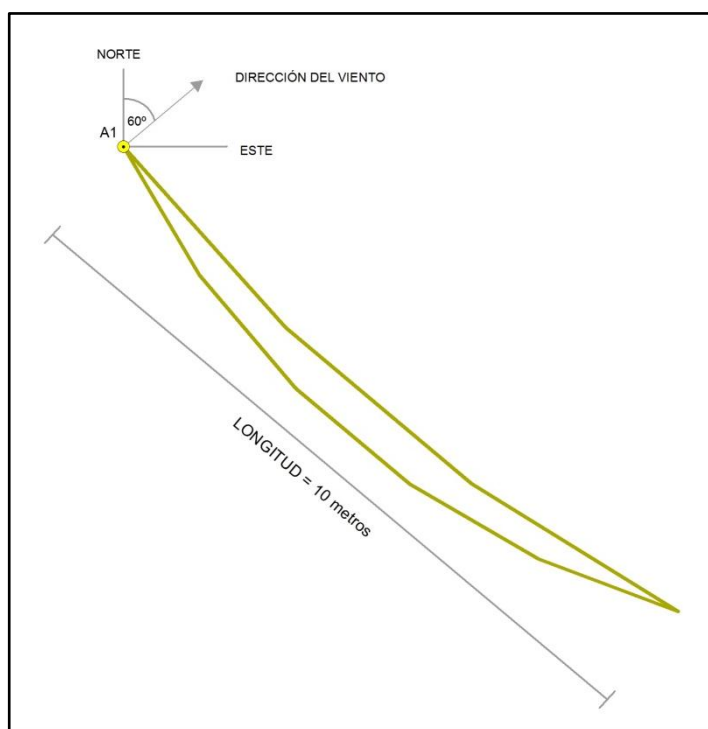
Con estos datos se determinó las dimensiones y el número de atrapanieblas que deben colocarse en la zona de estudio para cumplir con parte del requerimiento de agua del cultivo, esta información se presenta en el Cuadro 18.

**Cuadro 18**  
**Dimensiones del Sistema de Atrapanieblas de acuerdo a las necesidades hídricas del maíz**

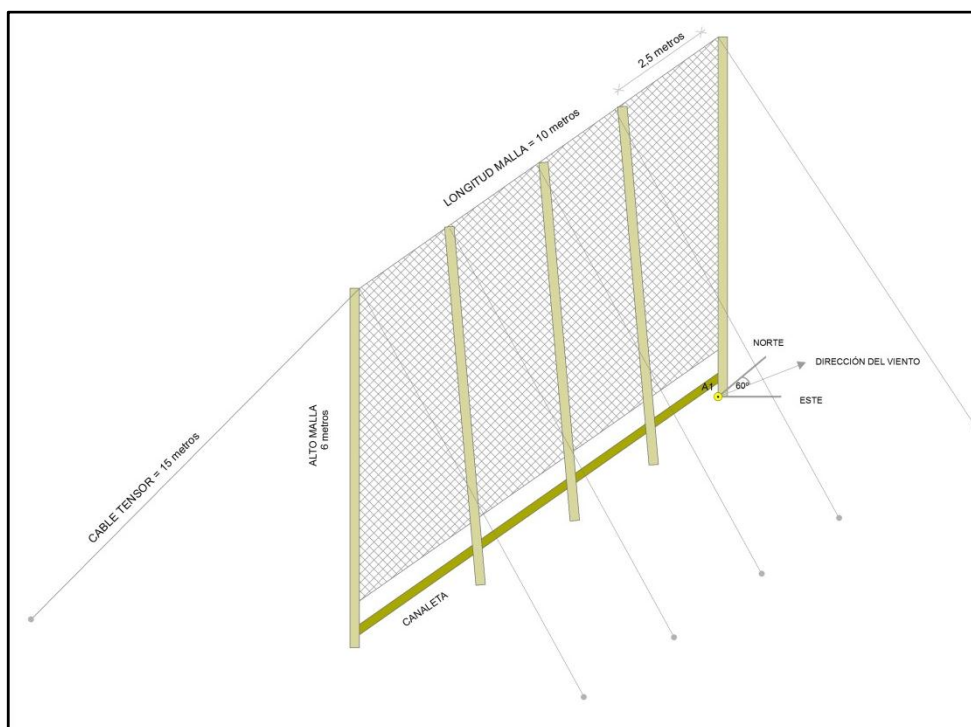
Porcentaje de agua recolectada para cumplir la demanda	Cantidad de agua para recolectar	Atrapanieblas necesarios para cumplir con el % de agua requerida	Extensión de atrapanieblas propuesto para cumplir el % de agua demandada			
			Largo (m)	Altura (m)	Extensión Total (m <sup>2</sup> )	# Atrapanieblas para colocar
100	289202	53064	10	6	60	884
50	144601	26532	10	6	60	442
25	72300	13266	10	6	60	221
10	28920	5306	10	6	60	88
5	14460	2653	10	6	60	44
1	2892	531	10	6	60	9

Como se observa en el cuadro anterior el diseño del Sistema de Atrapanieblas se realizó para recolectar entre el 1 al 100% del agua demandada para abastecer los requerimientos del cultivo de maíz. La cantidad de agua solicitada por el cultivo es muy alta, por lo que, con la aplicación de este Sistema se presentan dos diseños que buscan satisfacer la demanda del 1 al 5% de agua del cultivo recolectando entre 2000 y 14000 Litros, debido a la cantidad de malla requerida no es posible colocar un mayor número de Atrapanieblas, poniendo a consideración a la comunidad el número de atrapanieblas que deseen colocar.

Según la Ley de Biodiversidad en un fragmento del artículo 46 estipula que los páramos deben mantener su cobertura nativa original, por tanto, no se podrá forestar o establecer nuevos sistemas forestales sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar, por este motivo, el número de Atrapanieblas propuestos para recolectar agua de niebla está diseñado para satisfacer hasta el 5% de la demanda del cultivo, ya que, la colocación de más Atrapanieblas afectaría la cobertura nativa del páramo, además de provocar una contaminación paisajística del mismo. A continuación, en las Figuras 41 y 42 se presenta el diseño y dimensiones del Sistema de Atrapanieblas propuesto:



**Figura 41. Vista Superior del Sistema de Atrapanieblas**

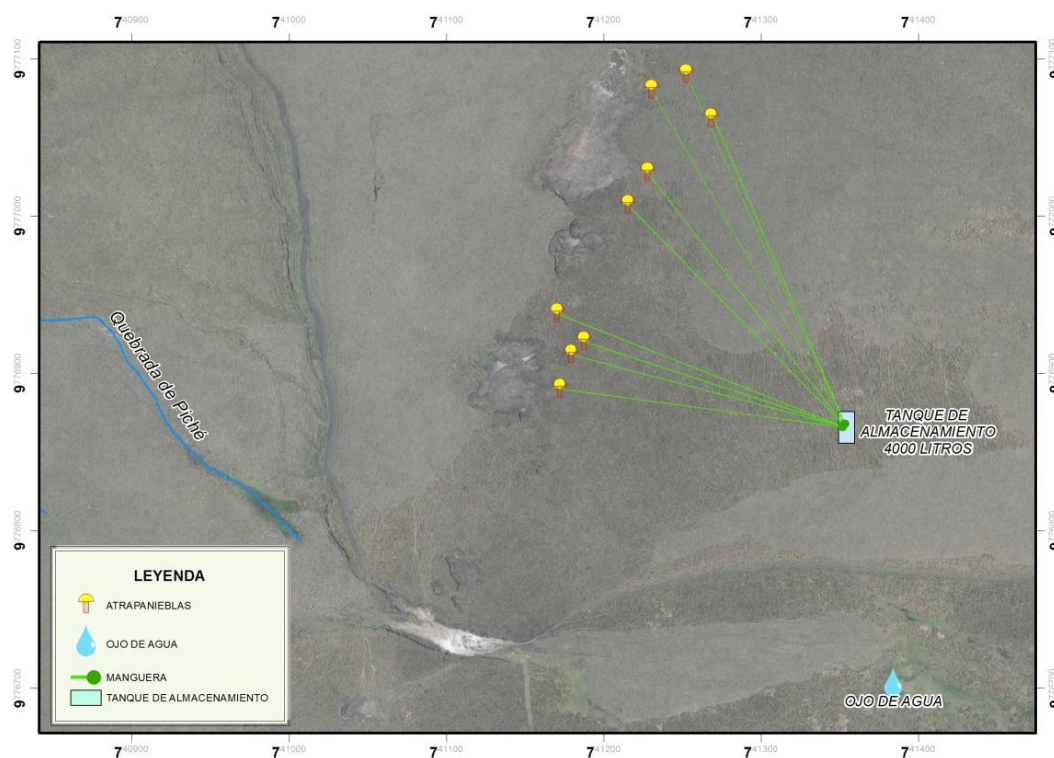


**Figura 42. Vista Frontal del Sistema de Atrapanieblas**

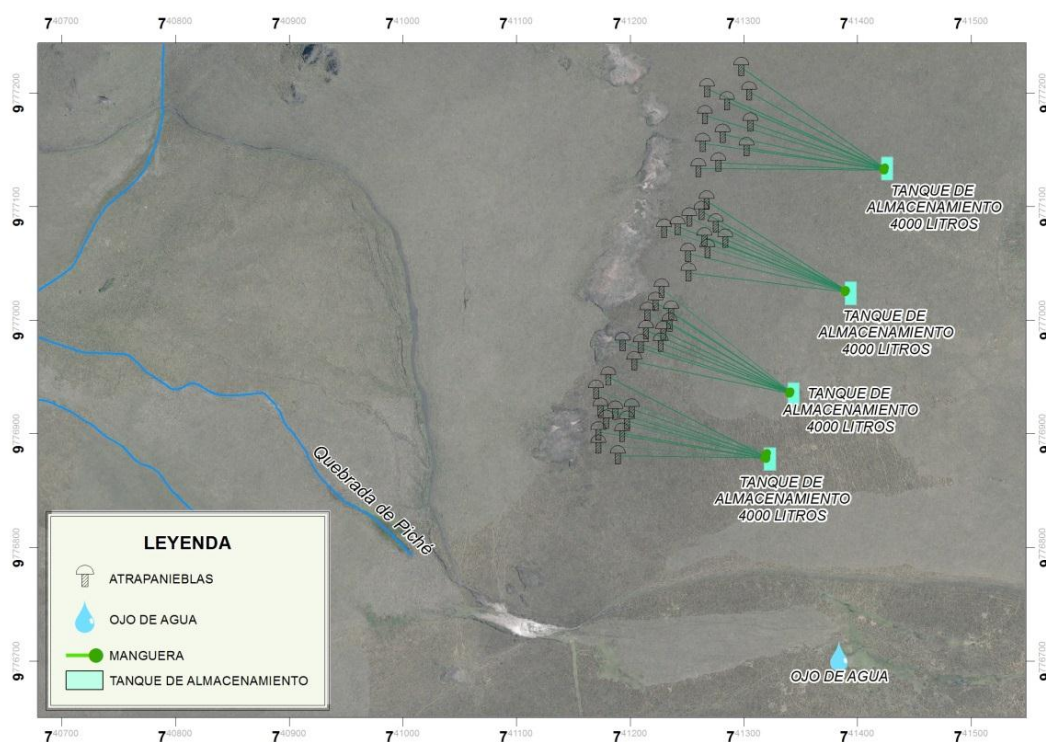
En las Figuras 43 y 44 se muestran la ubicación de los Sistemas de Atrapanieblas planteados para recolectar el 1% y 5% de agua respectivamente y satisfacer la demanda de agua del cultivo de maíz,



también se indica la ubicación de los tanques de almacenamiento de agua a los que irá dirigida la manguera desde los atrapanieblas.



**Figura 43. Ubicación de los Atrapanieblas necesarios para satisfacer 1% de la demanda de agua para maíz**



**Figura 44. Ubicación de los Atrapanieblas necesarios para satisfacer 5% de la demanda de agua para maíz**

#### **4.6.2. De acuerdo a la capacidad del recipiente recolector de agua - niebla**

En este segundo caso, el diseño se lo realizó de acuerdo a la capacidad del recipiente que es de 250 Litros, el cual recolectara el agua de todos los atrapanieblas para no provocar un mayor impacto ambiental y visual a la zona de estudio.

En el Cuadro 19 se observa el agua recolectada por los atrapanieblas diariamente desde noviembre de 2014 hasta enero de 2016 en distintos periodos, tomando en cuenta que en diciembre de 2015 dos prototipos fueron reubicados y los otros fueron restaurados debido a daños sufridos por factores climáticos.

**Cuadro 19**  
**Agua recolectada por cada m<sup>2</sup> de prototipo en litros/día**

PROTOTIPO 2014	AGUA RECOLECTADA (l/día m <sup>2</sup> )					PROTOTIPO 2015	AGUA RECOLECTADA (l/día m <sup>2</sup> )		
	nov-14	dic-14	ene-15	feb-15	mar-15		dic-15	ene-16	feb-16
P1	0,23	0,45	0,29	0,39	0,32	A1	5,16	16,13	20,00
P2	0,63	0,52	0,35	0,43	0,39	A2	5,16	16,13	20,00
P3	0,62	0,87	0,55	0,75	0,48	A3	5,16	16,13	20,00
P4	1,00	0,94	0,68	0,89	0,61	A4	5,16	16,13	20,00
P5	0,43	0,77	0,48	0,71	0,55	A5	1,23	15,61	20,00
P6	0,53	0,74	0,42	0,61	0,48	A7	5,16	16,13	20,00
P7	0,83	0,94	0,48	0,64	0,48	A6	5,16	16,13	20,00
<b>TOTAL DIARIO</b>	4,28	5,23	3,26	4,43	3,32	<b>TOTAL DIARIO</b>	32,19	112,39	140,00
<b>PROMEDIO</b>	0,61	0,75	0,47	0,63	0,47	<b>PROMEDIO</b>	4,60	16,06	20,00

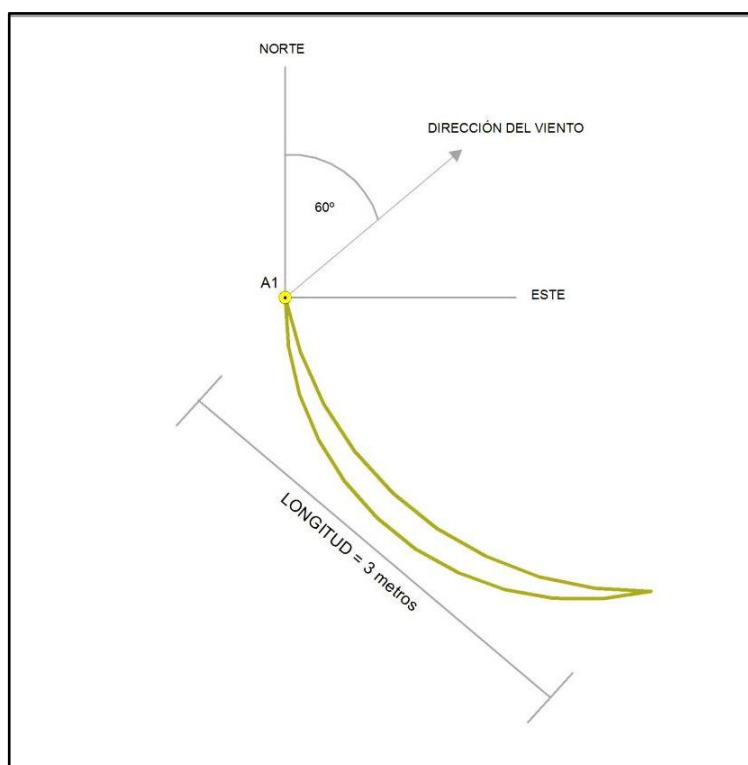
En el cuadro anterior se detalla los litros de agua promedio que se recolecta diariamente en cada prototipo, donde se muestra que para los meses de diciembre a febrero en que funcionan los nuevos prototipos se recolecta mayor cantidad de agua, ya que la malla se tensó de mejor forma que en los prototipos anteriores y los dos colectores removidos se encuentran bien ubicados cerca de la línea parte aguas, lo que ayudo a determinar qué punto o puntos son los adecuados para colocar el Sistema de Atrapanieblas definitivo.

Tomando en cuenta la ubicación de los prototipos iniciales y reubicados, se plantea como una opción colocar el sistema de atrapanieblas en los siete puntos localizados en Diciembre de 2015, direccionando el agua a un solo recipiente con capacidad de 250 Litros, el mismo que debe ser llenado en un día. La dimensión de los atrapanieblas se observa en el Cuadro 20 tomando en cuenta que la cantidad de agua que recolecta cada m<sup>2</sup> de atrapanieblas es de 5,45 Litros. El agua necesaria que debe recoger cada atrapanieblas para llenar el recipiente es de 35,71 Litros / m<sup>2</sup>, por lo que, para cumplir la demanda diaria se planteó colocar siete Sistemas de Atrapanieblas de 6 m<sup>2</sup> de extensión cada uno, logrando recolectar un total de 228,82 Litros de agua al día.

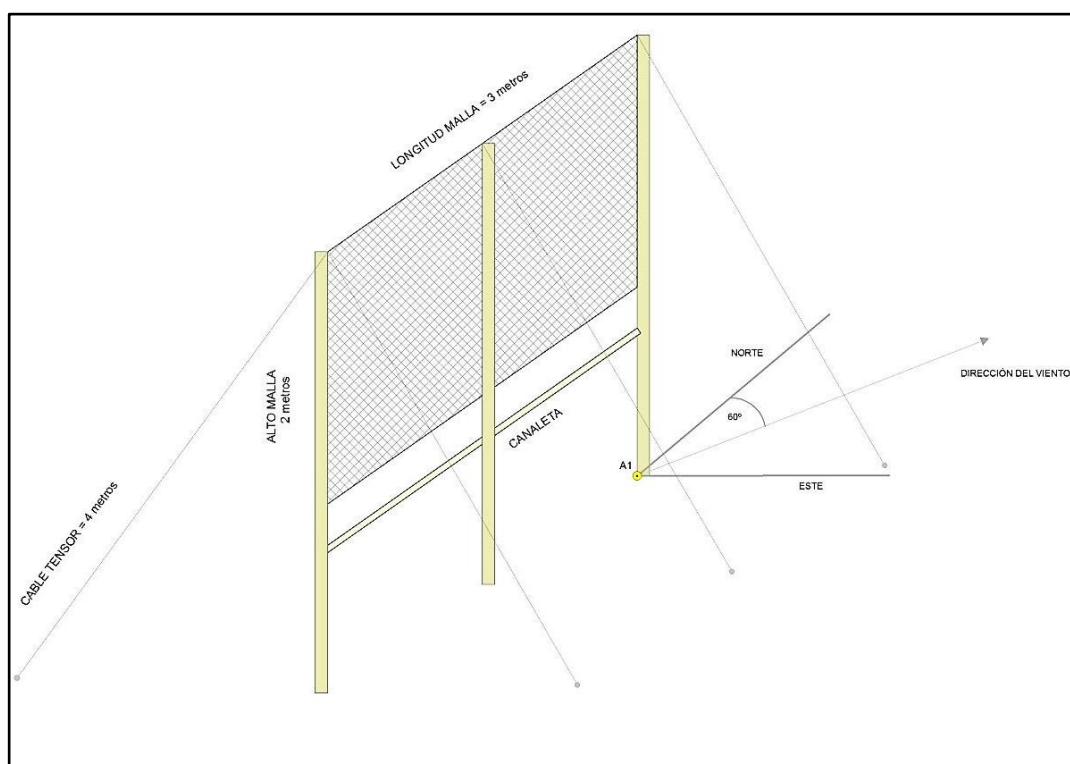
**Cuadro 20**  
**Dimensiones del Sistema de Atrapanieblas de acuerdo a la capacidad del recipiente**

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Agua recolectada por los 7 atrapanieblas al día	38,14	Litros
Agua recolectada por m <sup>2</sup> de atrapanieblas al día	5,45	Litros
Capacidad del recipiente	250	Litros
Agua necesaria por atrapanieblas para cumplir la demanda	35,71	Litros / m <sup>2</sup>
Extensión del Sistema de Atrapanieblas para cumplir la demanda diaria	6,55	m <sup>2</sup>
Dimensiones del Sistema de Atrapanieblas	Largo	3 m
	Alto	2 m
Extensión Final del Sistema de Atrapanieblas	6	m <sup>2</sup>
Cantidad Total de Agua recolectada por el recipiente tomando en cuenta los 7 Atrapanieblas	228,82	Litros

En la Figura 45 y 46 se muestra el diseño del Sistema de Atrapanieblas con la extensión antes obtenida, además, se tomó en cuenta la dirección del viento ya que el Sistema debe estar perpendicular a la misma para que funcione óptimamente.



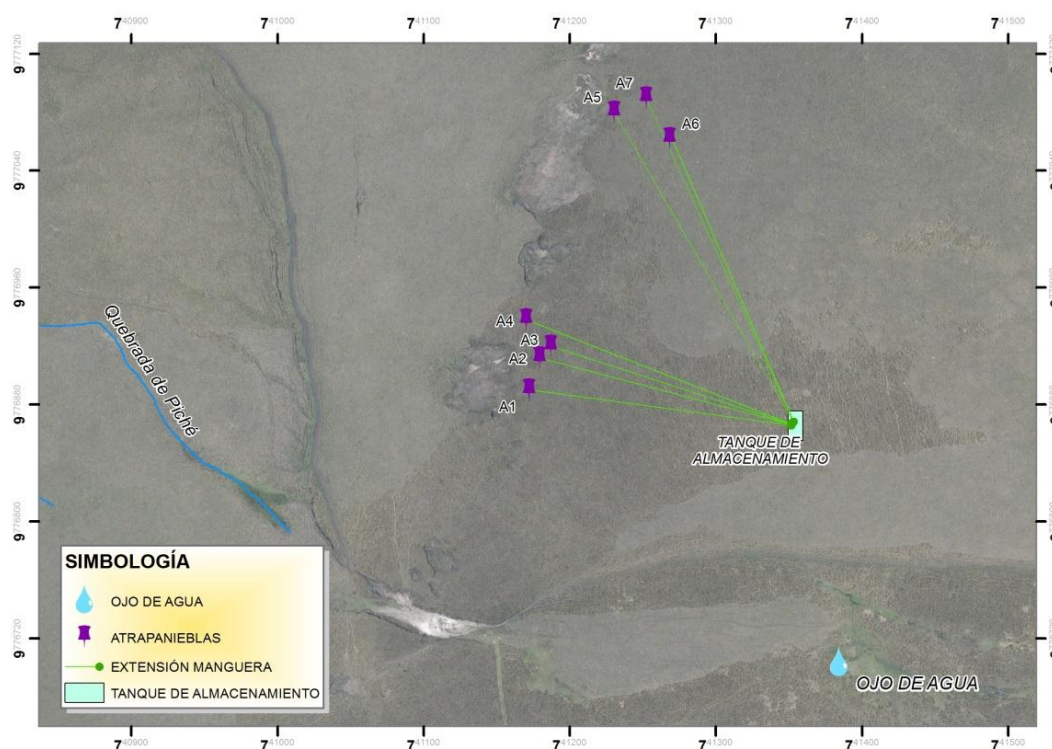
**Figura 45. Vista superior del Sistema Atrapanieblas**



**Figura 46. Vista frontal del Sistema Atrapanieblas**

En las figuras anteriores se observa que el tanque de almacenamiento no se encuentra ubicado cerca del Sistema, ya que como se mencionó

anteriormente se colocará un solo reservorio en el punto medio entre el ojo de agua y los atrapanieblas, el cual se sitúa aproximadamente en las coordenadas UTM 17S 741297,5 mE 9776977,3 mN a una distancia entre 90 y 150 metros de cada Atrapanieblas. En la Figura 47 se muestra la ubicación de los Sistemas y la localización del tanque de reserva, así mismo se indica la extensión de manguera que será necesaria para transportar el agua desde los Atrapanieblas.



**Figura 47. Ubicación del tanque de almacenamiento de agua – niebla**

#### **4.7. Elaboración del Presupuesto**

Una vez obtenidos los datos de cuánta agua recopila cada colector de niebla, las condiciones adecuadas en las que se encuentran los sitios de muestreo y el previo análisis del mejor sitio para implementar un Sistema de Atrapanieblas, se procede a la elaboración del presupuesto en donde el costo total de la implementación de un Sistema Atrapanieblas, contendrá todos los materiales y herramientas necesarias para la instalación del mismo.

En los Cuadros 21 y 22 se presenta el detalle de los suministros requeridos para la implementación de este Sistema de Atrapanieblas en la zona de estudio.

#### **Cuadro 21**

**Presupuesto detallado de los materiales necesarios para la colocación del Sistema de Atrapanieblas de 3 X 2 metros en los siete puntos localizados en la zona de estudio**

<b>CONCEPTO</b>	<b>CANT</b>	<b>PRECIO UND (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Tanque de almacenamiento de agua (Vol :250 Litros)	1	100.00	100.00
Tubo PVC (Diámetro: 2 plg; Longitud: 3m)	7	6.00	42.00
Malla Recolectora de Agua (Sarán); (Coeficiente de sombra: 50%; 13 m x 2.1 m)	4	16.00	64.00
Tornillos Cáncamo Cerrado (5/16 x 4")	42	0.99	41.58
Tensor Ojo / Gancho (53/8" 160L)	21	1.79	37.59
Cable (3/16 7 x 19 AC)	77m	1.39	107.03
Grillete de Cable (3/4" CH 3/4")	42	1.55	65.10
Manguera Polietileno	800m	1.00	800.00
Postes de madera (3,5 m) largo	21	5.00	105.00
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>			<b>1362.30</b>

#### **Cuadro 22**

**Presupuesto detallado de los materiales necesarios para la colocación del Sistema de Atrapanieblas de 6 x 10 metros en nueve puntos localizados en la zona de estudio para abastecer el 5% de la demanda del cultivo.**

<b>CONCEPTO</b>	<b>CANT</b>	<b>PRECIO UND (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
Tanque de almacenamiento de agua (Vol :4000 Litros)	1	300.00	300.00
Tubo PVC (Diámetro: 2 plg; Longitud: 3m)	36	6.00	216.00
Malla Recolectora de Agua (Sarán); (Coeficiente de sombra: 50%; 13 m x 2.1 m)	45	16.00	720.00
Tornillos Cáncamo Cerrado (5/16 x 4")	90	0.99	89.10
Tensor Ojo / Gancho (53/8" 160L)	45	1.79	80.55
Cable (3/16 7 x 19 AC)	297m	1.39	412.83
Grillete de Cable (3/4" CH 3/4")	90	1.55	139.50
Manguera Polietileno	1000m	1.00	1000.00
Postes (6,5 m) largo	45	7.00	315.00
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>			<b>3272.98</b>

## CAPÍTULO V

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

Para utilizar la información meteorológica en el presente estudio y determinar la cantidad de agua requerida por los cultivos de la zona, fue necesario realizar el relleno de datos mediante dos métodos estadísticos apropiados para completar información meteorológica faltante y posteriormente realizar la homogenización y validación de los mismos, obteniéndose entre el 70 y 90% de confianza de los datos completados.

La niebla que presenta diariamente la zona de estudio generó en promedio durante el período noviembre 2014 - febrero 2016 entre 5 y 6 litros de agua al día en cada atrapanieblas, sin embargo, no es suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de todos los cultivos de la zona, aun así, la instalación de estos colectores de niebla ayudó a regar parte de los terrenos ubicados en las zonas más altas de Galte y compensar la falta de agua en épocas de baja precipitación.

La extensión de los Sistemas de Atrapanieblas que se plantea colocar no satisface completamente las necesidades hídricas de los cultivos, sin embargo, la comunidad al ser parte de distintas Juntas de Riego y Drenaje no requieren obtener el 100% de agua para riego de la niebla, sino una parte que les permita regar los cultivos en días donde el agua del Sistema de Riego escasea y el agua proveniente de la lluvia no es suficiente para permitir el desarrollo normal del cultivo y su producción se esté desperdiciando.

Se recomienda investigar la colocación de los Sistemas de Atrapanieblas de manera tridimensional para optimizar el uso de este sistema, ya que, al colocar los Atrapanieblas de forma horizontal no se aprovecha al 100% la capacidad de recolección de agua, además de producir una contaminación visual del lugar por la cantidad de malla extendida a lo largo de la zona de aplicación.



Debido a que el área de estudio se encuentra en el *Divortium aquarium* de dos grandes cuencas hidrográficas y es muy apartado de las comunidades involucradas, es recomendable ubicar los sistemas de atrapanieblas en terrenos de los propietarios que requieran agua para sus cultivos y el Sistema de riego no satisfaga esas necesidades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad, Ivan. (2014). Estimación de Precipitación Espacial mediante Correlación con Variables Secundarias y la ayuda de Tecnologías de Información Geográfica. Maestría en Geomática Orientada al Ordenamiento Territorial. Universidad de Cuenca. Facultad de Ingeniería. Cuenca, Ecuador.
- Aguilera, M., & Martínez, R. (1980). Relaciones agua - suelo - planta - atmósfera. México, México: Universidad Autónoma de Chapingo. 86pp
- Aparicio, Francisco. (2012). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa, S.A. Mexico, D.F.
- Aranguiz, G., Morales, F., Niero, J., & Silva, G. (2009). Diseño Generativo Aplicación en Sistemas de Atrapanieblas en el Norte de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Escuela de Diseño. Seminario de Diseño Computacional II. Santiago, Chile.
- Arichabala, Hellen *et al.* Premio Odebrecht 2014: Los 10 Mejores Proyectos. Odebrecht, 2014. 174p.
- Castillo, Francisco E., Sentis, Francesc C. (2001). Agrometeorología. 2da Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 517pp.
- Cereceda, P. (1989). La Distribución de la Niebla en Chile. . *Revista de Geografía Norte Grande, Pontificia Universidad Católica de Chile*, 43-49. Obtenido de [http://www.geo.uc.cl/html/revista/PDF/RGNG\\_N16/art03.pdf](http://www.geo.uc.cl/html/revista/PDF/RGNG_N16/art03.pdf)
- Cereceda, P. (2000). Los Atrapanieblas, Tecnología Alternativa para el Desarrollo rural. *Medio Ambiente y Desarrollo, CIPMA, XVI(4)*, , 51-56. Obtenido de [http://www.cda.uc.cl/pdf/est\\_patache/losatrapanieblas\\_desarrollorural.pdf](http://www.cda.uc.cl/pdf/est_patache/losatrapanieblas_desarrollorural.pdf)
- Cereceda, P., Pimstein, A., Rivera, J. (2011). Avances científicos en el estudio de la niebla. Seminario: LA NIEBLA, FUENTE NO CONVENCIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Centro del Desierto de Atacama. Pontificia Universidad Católica de Chile. La Serena.
- Ecuador en Cifras. (2015). Encuesta de Condiciones de Vida del Ecuador 2014. Fecha de consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de:

[http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/ECV/ECV\\_2015/](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/ECV/ECV_2015/)

Embassy of the State of Eritrea. (2015). Stockholm – Sweden. Fecha de consulta Diembre, 2015. Obtenido de: <http://www.eritrean-embassy.se/>

FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO de Riego y Drenaje. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Feddehaye, M., Abdul - Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., Gherezghiher, T., & Hurni, H. (2014). *Renwable and Sustainable Energy Reviews*. Obtenido de Fog - watercollection for community use: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)

FogQuest: Sustainable Water Solutions. (2015). Obtenido de <http://www.fogquest.org/>

Fundación Gonzalo Río Arronte. (2013). Gestión y Administración de Agua. Gestión de aguas subterráneas. Fecha de Consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://www.fgra.org.mx/>

Fundación SWISSAID Ecuador. (2010). BioGranjas. Año 1, No. 2. Julio - Diciembre 2010. Obtenido de: <http://www.swissaid.org.ec/>

Fundación SWISSAID Ecuador. (2011). BioGranjas. Año 2, No. 4. Julio - Diciembre 2011. Obtenido de: <http://www.swissaid.org.ec/>

Fundación SWISSAID Ecuador. (2012). BioGranjas. Año 3, No. 6. Julio - Diciembre 2012. Obtenido de: <http://www.swissaid.org.ec/>

Fundación SWISSAID Ecuador. (2013). BioGranjas. Año 3, No. 7. Enero - Junio 2013. Obtenido de: <http://www.swissaid.org.ec/>

Galindo de la Torre, Edwin. (2010). Estadística. Método y Aplicaciones para Administración e Ingeniería. 3ra Ed. ProCiencia Editores.

Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2015). *Meteorología*. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>

Instituto Geografico Militar, 2013. Capas de Información Geográfica básica del IGM de libre acceso. Escala 1:50.000, Segunda Versión. <http://www.geoportaligm.gob.ec/>

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2015). Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Jerezun - Clements, & Orduz, F. (2013). Documento del Banco Interamericano de Desarrollo Ecuador. Programa de Inversiones para el desarrollo rural de Chimborazo. Propuesta de préstamo.
- Ministerio de Coordinación de la Producción, Empleo y Competitividad. (2011). Agenda para la Transformación Productiva Territorial. Provincia de Chimborazo.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP). (2015). Plan Nacional de Riego y Drenaje hasta el 2027. Fecha de Consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://www.agricultura.gob.ec/>
- Ministerio del Turismo de Sultanato de Omán. (2015). Fecha de consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://www.omantourism.gov.om/>
- Ministerio del Ambiente, MAE. (24 de Abril de 2016). Ministerio del Ambiente. Obtenido de Ley para la Conservación y uso sustentable de la Biodiversidad: <http://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio del Ambiente, MAE;. (24 de Abril de 2016). Ministerio del Ambiente. Obtenido de Subsecretaría de Patrimonio Natural. Monitoreo del Patrimonio Natural: <http://patrimonio.ambiente.gob.ec/>
- Namibian Academy for Tourism and Hospitality. (2015). Fecha de consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://www.nathnamibia.org/>
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). Guía de prácticas climatológicas. OMM-Nº 100. Ginebra, Suiza.
- Organización de las Naciones Unidas. (2014). Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida" 2005 - 2015. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES). Fecha de Consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Otero, G.D., 2011. Imputación de datos faltantes en un sistema de información sobre conductas de riesgo. (Trabajo final de master en técnicas estadísticas). Universidad de Santiago de Compostela. España.
- Pacheco, A. J., Capa, H. (2009). Tratamiento Estadístico a la Pérdida e Inconsistencia de Datos del Módulo de Registro Histórico del Sistema

de Manejo de Energía del Ecuador del Centro Nacional de Control de Energía - CENACE. Escuela Politécnica Nacional

Pérez, F. J. (2011). Abastecimiento de Aguas. Captacion de Aguas Superficiales. Obtenido de Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.: [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6010/mod\\_resource/content/1/Tema\\_02\\_CAPT\\_AGUAS\\_SUP.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6010/mod_resource/content/1/Tema_02_CAPT_AGUAS_SUP.pdf)

Plan de Ordenamiento Territorial - PALMIRA. (2011). Administración 2009 - 2014.

Pontificia Universidad Católica de Chile. (2015). Facultad de Historia, Geografía y Ciencia Política, Instituto de Geografía. Fecha de consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://geografia.uc.cl/>

Pontificia Universidad Católica de Chile. (2015). UC potencia la investigación en el desierto de Atacama. Fecha de consulta: Diciembre, 2015. Obtenido de: <http://www.uc.cl/>

Pourrut, P. (1995). *Estudios de Geografía* (Vol. 7). (M. Villamar, Trad.) Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional.

Sánchez, F. J. (2011). *Medidas puntuales de permeabilidad*. Obtenido de Universidad de Salamanca, 13 pp.: <http://hidrologia.usal.es>

Schemenauer, R., Cereceda, P., & Osses, P. (2005). FogQuest: Sustainable Water Solutions. Fog Water Collection Manual. International Development Research Centre.

Soto, A. G. (1992). Camanchanca: Alternativas de utilización y Selección de Lugares en el Norte de Chile (El Tofo- Chungungo). Corporación Nacional Forestal. La Serena: IV Región.

Tiupul, P. (2014). Identificación y Caracterización de tecnologías campesinas e indígenas usadas para la preservación de la Agrobiodiversidad como medidas de adaptación al cambio climático, en tres comunidades de la provincia de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

UNESCO, 2006. Evaluación de los Recursos Hídricos. Elaboración del balance hídrico integral por cuencas hidrográficas. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°4.

Villavicencio, Aida., Vásquez, Wilson. (2008). Guía Técnica de Cultivos. Manual N° 73. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito, Ecuador.

ANEXOS