

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE  
DOS PROTOTIPOS DE CAPTADORES DE NIEBLA PARA  
OBTENER AGUA PARA RIEGO EN EL BARRIO CATZUQUI DE  
MONCAYO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA AMBIENTAL**

**PÉREZ POZO ERIKA ISABEL**  
**erika.perez@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: Ph.D. VACA JIMENEZ SANTIAGO DAVID**  
**santiago.vaca@epn.edu.ec**

**CO-DIRECTOR: Ph.D. MINAYA MALDONADO VERONICA GRACIELA**  
**veronica.minaya@epn.edu.ec**

**Quito, 2022**

## DECLARACION

Yo, Erika Isabel Pérez Pozo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Erika Isabel Pérez Pozo

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Erika Isabel Pérez Pozo, bajo nuestra supervisión.

---

Ph.D. Santiago Vaca  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ph.D. Verónica Minaya  
**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por las bendiciones que he recibido a lo largo de toda mi vida, a la virgencita por guiarme y fortalecerme en los momentos de dificultad y debilidad.

A mis padres Raúl Pérez y Vilma Pozo por su amor, apoyo incondicional y por ser el pilar de mi vida. Son lo más preciado que tengo, no me va a alcanzar la vida para agradecer todo lo que han hecho por mí, todo lo que soy y puedo llegar a ser es gracias a ustedes. Dios me ha bendecido con los mejores padres del mundo, los amo con todo mi corazón, son nuestro orgullo, siempre voy a valorar y a reconocer su entrega y dedicación hacia nosotros. Gracias por confiar en mí, enseñarme a ser valiente y a no rendirme ante las adversidades que se presenten. Son el motor de mi vida, no importa lo que pasé porque sé que siempre voy a poder contar con ustedes y eso es todo lo que necesito para seguir adelante cumpliendo todas mis metas y sueños.

A mi hermano Marco Rafael por ser mi protector, mi guía y mi ejemplo a seguir. Gracias por confiar y siempre estar orgulloso de mí, por tu amor, motivación y por estar para mí, te amo y te extraño todos los días.

A mi familia, en especial a mi tío Javi por apoyarme y acompañarme a las visitas de campo, por estar para mí y mi hermano siempre. A mis tíos Marco y Giojana, mis primos Marco Vinicio y Scarlet por acompañarnos y ser nuestro soporte en los momentos más difíciles y dolorosos. A mis tíos Carlos y Rossana, mis primas Karla y Diana por su cariño, alegría y apoyo siempre. A mis tíos Pepita y Pepito que son como mis segundos abuelitos, siempre están pendientes de mí y me han dado su cariño. A todos mis tíos, primos y amigos por su preocupación y apoyo sincero, gracias por todo.

A mi novio, Bryan Rodríguez no tengo palabras que puedan expresar lo agradecida que estoy por todo lo que me has brindado, eres mi amor, mi mejor amigo, mi confidente, mi compañero, mi apoyo y mi lugar seguro, en fin, todo. Gracias por

apoyarme, estar para mí todo el tiempo, levantarme con tu amor y tus palabras sinceras, y sobre todo por no dejar que me rinda. Gracias por tu amor, paciencia y por ser todo lo que quiero. Este es un logro de los muchos que vendrán, sé que vamos a seguir festejando nuestros triunfos y nos apoyaremos en nuestros tropiezos porque somos un gran equipo, el mejor. Te amo mi amor.

De igual manera quiero expresar mi sinceros agradecimiento a Santiago y Verónica por todo su tiempo, apoyo y paciencia en todo momento. Sin duda son grandes profesionales, pero sobre todo son maravillosas personas con quienes tuve la fortuna de coincidir y compartir, gracias infinitas a los dos.

Quiero agradecer a la comunidad del barrio Catzuqui de Moncayo por la apertura que me dieron desde el primer momento, en especial a la organización de la Junta de Regantes, a la Sra. Blanca Argüello, y al soporte que me dio la familia del Señor Rodrigo Hidalgo permitiendo hacer posible el desarrollo de esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a la Escuela Politécnica Nacional por permitirme formar profesionalmente, a todo su personal docente por las enseñanzas impartidas y los valores de responsabilidad, dedicación y esfuerzo aprendidos. A mis compañeros de carrera, amigos y conocidos porque todos hicieron de esta etapa universitaria una gran experiencia, me llevo de recuerdo todos los momentos compartidos, les deseo muchos éxitos y bendiciones a todos. En especial Jos, amiga te quiero mucho, eres la mejor en todos los sentidos posibles, gracias por todo, deseo que sigamos manteniendo esta amistad hasta viejitas.

## DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a la memoria de mi hermano Marco Rafael Pérez Pozo, a pesar de que su presencia física ya no está con nosotros siempre lo tenemos presente. Con tu inesperada partida una parte de mi vida se fue contigo y lo que fortalece mi corazón es que te siento conmigo donde vaya. Eres nuestro ángel en el cielo, te amo infinitamente.

A mis padres Raúl Eduardo Pérez Nieto y Vilma Isabel Pozo Rosero porque con su esfuerzo, amor y dedicación hacen posible que todos mis sueños y deseos más profundos sean posibles. Este logro es de ustedes porque han hecho todo para que pueda prepararme y ser una excelente profesional, pero sobre todo una persona con valores y calidad humana, siempre serán mi ejemplo a seguir, los amo con mi vida y con todo el corazón.

A mi sobrina Rafaela una niña hermosa y con un gran corazón, me llenas la vida con tus ocurrencias y con tu alegría. Quiero esforzarme por hacer las cosas bien siempre y poder llegar a ser un ejemplo para ti, para que nunca te rindas y siempre luches por lo que quieres y te haga feliz, siempre voy a estar para ti pequeñita linda.

A mi abuelito Vini porque ha sido parte de nosotros y siempre ha festejado los triunfos de los suyos como propios, y yo sé que este logro le va a hacer muy feliz. Por su amor incondicional y porque con su ejemplo nos ha enseñado que las cosas se logran con trabajo y esfuerzo.

A Bryan Rodríguez, mi amor esto también está dedicado a ti, sabes todo el esfuerzo, dedicación y corazón que le he puesto a este trabajo y a pesar de que las cosas no resultaron como hubiera esperado y lo mucho que me costó por diferentes razones, por fin lo logré. Eres una parte fundamental en todo esto porque me diste fuerzas cuando más necesitaba, me ayudaste y apoyaste en todo momento, por eso y mucho más te amo con todo mi corazón. Estoy segura de que se vienen cosas muy buenas para ti, para mí y para nosotros así que vamos por todo mi amor.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACION .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
DEDICATORIA .....	V
ÍNDICE GENERAL .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ABREVIATURAS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	1
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4. ALCANCE.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA .....	5
1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ESTADO DEL ARTE .....	7
2.2. EL RIEGO EN EL ECUADOR.....	12
2.2.1. IMPORTANCIA DEL RIEGO .....	12
2.2.2. PROBLEMAS DE RIEGO.....	13
2.2.3. NECESIDAD DE AGUA EN LOS CULTIVOS.....	13
2.2.4. NECESIDAD DE RIEGO .....	14
2.2.5. INTRODUCCIÓN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	15
2.2.6. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN .....	16

2.3. LA NIEBLA Y SU POTENCIAL COMO FUENTE HÍDRICA NO CONVENCIONAL .....	16
2.3.1. LA NIEBLA .....	16
2.3.2. TIPOS DE NIEBLA SEGÚN SU FORMACIÓN.....	17
2.4. VARIABLES CLIMÁTICAS .....	18
2.5. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE NIEBLA.....	19
2.5.1. CAPTADORES DE NIEBLA BIDIMENSIONAL .....	20
2.5.2. CAPTADOR DE NIEBLA TRIDIMENSIONAL.....	22
2.6. PROYECTOS DE CAPTADORES DE NIEBLA EN EL ECUADOR .....	23
2.6.1. QUERO- TUNGURAHUA (2014) .....	23
2.6.2. GALTE- CHIMBORAZO (2016).....	24
2.6.3. ILALÓ- PICHINCHA (2020) .....	26
2.7. CICLO DE VIDA.....	27
2.7.1. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) .....	27
2.7.2. LÍMITES DEL CICLO DE VIDA .....	28
2.7.3. FASES DE UN ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA.....	29
CAPÍTULO III.....	31
3. METODOLOGÍA.....	31
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	31
3.1.1. ANTECEDENTES E HISTORIA DE CATZUQUI DE MONGAYO .....	32
3.1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	33
3.1.3. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ESTUDIO .....	35
3.2. NECESIDAD DE RIEGO.....	36
3.2.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET <sub>c</sub> ).....	36
3.2.2. REQUERIMIENTO MENSUAL DE AGUA .....	39
3.2.3. DÉFICIT DE AGUA PARA EL CULTIVO .....	39
3.2.4. VOLUMEN DE RIEGO PARA SATISFACER DÉFICIT DE AGUA.....	40
3.3. CAPTADORES DE NIEBLA .....	40
3.3.1. DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS DE CAPTADORES DE NIEBLA .....	40
3.3.2. TOMA DE DATOS .....	43
3.3.3. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS CAPTADORES.....	44
3.3.4. CORRELACIÓN ENTRE EL AGUA DE NIEBLA CAPTURADO Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS.....	47
3.3.5. NÚMERO DE CAPTADORES PARA SATISFACER EL DÉFICIT DE AGUA.....	49
3.3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS CAPTADORES DE NIEBLA .....	49

3.4.	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL CAPTADOR DE NIEBLA.....	51
3.4.1.	DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE.....	51
3.4.2.	ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA .....	51
3.4.3.	FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA .....	55
3.4.4.	INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA .....	56
CAPÍTULO IV .....		57
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	57
4.1.	ÁREA DE ESTUDIO .....	57
4.1.1.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	57
4.2.	NECESIDAD DE RIEGO.....	61
4.2.1.	REQUERIMIENTO MENSUAL DE AGUA PARA EL CULTIVO .....	61
4.2.2.	DÉFICIT DE AGUA PARA EL CULTIVO .....	63
4.3.	CAPTADORES DE NIEBLA .....	64
4.3.1.	DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS DE CAPTADORES DE NIEBLA .....	64
4.3.2.	DISPONIBILIDAD DE AGUA DE NIEBLA .....	67
4.3.3.	CORRELACIÓN ENTRE EL AGUA DE NIEBLA CAPTURADO Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS.....	70
4.3.4.	NÚMERO DE CAPTADORES PARA SATISFACER DÉFICIT DE AGUA.....	72
4.3.5.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	76
4.4.	ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA .....	77
4.4.1.	INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA .....	77
4.4.2.	INDICADORES DE IMPACTO .....	81
4.5.	COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS .....	82
4.5.1.	RENDIMIENTO DE AGUA DE NIEBLA CAPTURADA.....	82
4.5.2.	NÚMERO DE CAPTADORES PARA CUBRIR DEMANDA DE RIEGO.....	83
CAPÍTULO V .....		85
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
5.1.	CONCLUSIONES.....	85
5.2.	RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA .....		88
ANEXOS.....		95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estudios sobre captación de agua de niebla alrededor del mundo.....	8
Tabla 2. Estación Meteorológica Izobamba.....	34
Tabla 3. Estaciones meteorológica La Tola e Izobamba.....	34
Tabla 4. Valores de coeficientes del tanque evaporímetro (kp) para Clase A .....	37
Tabla 5. Estación Meteorológica Rumihurco .....	44
Tabla 6. Dimensiones de canaleta .....	46
Tabla 7. Recursos utilizados en proceso de construcción Bidimensional.....	53
Tabla 8. Recursos utilizados en proceso de construcción Tridimensional .....	53
Tabla 9. Información de flujo de entradas y salidas del Diseño Bidimensional .....	54
Tabla 10. Información de flujo de entradas y salidas del Diseño Tridimensional.....	54
Tabla 11. Requerimiento mensual de agua del cultivo de maíz.....	62
Tabla 12. Requerimiento de agua del cultivo de maíz y precipitación mensual .....	63
Tabla 13. Correlación de Pearson de las variables climáticas y el agua de niebla capturado.....	71
Tabla 14. Prueba de hipótesis entre las variables y el agua de niebla.....	72
Tabla 15. Necesidad de agua del cultivo de maíz y precipitación mensual .....	72
Tabla 16. Promedio diario de recolección de agua niebla para la temporada seca .....	73
Tabla 17. Promedio diario de recolección de agua niebla para la temporada seca .....	73
Tabla 18. Número de captadores de 1 m <sup>2</sup> para requerimiento de agua del cultivo de maíz.....	74
Tabla 19. Número de captadores de 40 m <sup>2</sup> para requerimiento de agua del cultivo de maíz.....	75
Tabla 20. Costo de materiales e inversión inicial del Diseño Bidimensional.....	76
Tabla 21. Indicadores financieros VAN, TIR, PRI del diseño bidimensional .....	77
Tabla 22. Clasificación de entradas y salidas del Diseño Bidimensional .....	78
Tabla 23. Clasificación de entradas y salidas del Diseño Tridimensional.....	78
Tabla 24. Indicadores de Impacto del diseño bidimensional y tridimensional. ....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evaporación y transpiración en el crecimiento de un cultivo anual. ....	15
Figura 2. Captador de Niebla Bidimensional .....	20
Figura 3. Captador de Niebla Estándar (SFC) .....	21
Figura 4. Captador de Niebla Grande (LFC).....	22
Figura 5. Captador de niebla Macrodiamante - Carlos Espinosa .....	23
Figura 6. Captadores de Niebla instalados en Quero-Tungurahua.....	24
Figura 7. Sistema de Captadores de Niebla en Galte-Chimborazo .....	25
Figura 8. Captadores de Niebla instalados en la Isla San Cristóbal .....	26
Figura 9. Modelo Captador de Niebla Piramidal instalado.....	27
Figura 10. Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida.....	28
Figura 11. Límites del sistema en un Análisis del Ciclo de Vida .....	28
Figura 12. Ubicación del lugar de estudio (Catzuqui de Moncayo).....	32
Figura 13. Curva generalizada del coeficiente de cultivo (kc).....	39
Figura 14. Diseño captador de niebla bidimensional .....	42
Figura 15. Diseño captador de niebla bidimensional .....	43
Figura 16. Área de captación proyectada de la canaleta .....	45
Figura 17. Diagrama de flujo de la construcción Diseño Bidimensional .....	52
Figura 18. Diagrama de flujo de la construcción Diseño Tridimensional .....	52
Figura 19. Promedio Mensual Multianual de Precipitación (1990-2013) .....	57
Figura 20. Promedio Mensual Multianual Humedad Relativa (1990 -2013).....	58
Figura 21. Promedio Mensual Multianual de Punto de Rocío (1990 -2013).....	59
Figura 22. Promedio Mensual Multianual de Temperatura (1990-2013) .....	60
Figura 23. Promedio Mensual Multianual de Velocidad Media .....	61
Figura 24. Curva de coeficiente de cultivo kc para el maíz .....	62
Figura 25. Curva de precipitación y evapotranspiración para el cultivo de maíz .....	63
Figura 26. Representación de la instalación de los captadores de niebla .....	64
Figura 27. Captador de niebla Diseño Bidimensional .....	65
Figura 28. Captador de niebla Diseño Tridimensional .....	66
Figura 29. Captadores de niebla en Catzuqui de Moncayo .....	66
Figura 30. Volumen total de agua captada ( $l/m^2$ ) de agosto 2021 – enero 2022 por los prototipos bidimensional y tridimensional .....	67

Figura 31. Volumen de agua captada ( $l/m^2$ ) mensualmente de agosto 2021 – enero 2022 por los prototipos bidimensional y tridimensional.....	68
Figura 32. Volumen de agua captada ( $l/m^2$ ) mensualmente de agosto 2021- enero 2022 en cada dirección del prototipo Tridimensional .....	69
Figura 33. Diagrama de flujo del Diseño Bidimensional con las entradas y salidas.....	80
Figura 34. Diagrama de flujo del Diseño Tridimensional con las entradas y salidas.....	80
Figura 35. Comparación del agua de niebla captada con prototipos bidimensionales y tridimensionales en Catzuqui, Montecristi, Conocoto, San Cristóbal y Galte .....	83
Figura 36. Comparación del área de captación necesaria para cubrir demanda de agua en Catzuqui, Galte y San Cristóbal.....	84

## ABREVIATURAS

- SFC:** Captador de niebla estándar
- LFC:** Captador de niebla grande
- CFN:** Captador de niebla cilíndrico
- msnm:** Metros sobre el nivel del mar
- ET:** Evapotranspiración
- ETc:** Evapotranspiración del cultivo
- ETo:** Evapotranspiración del cultivo de referencia
- Ea:** Evaporación del tanque evaporímetro
- kc:** Coeficiente de cultivo
- kp:** Coeficiente del tanque evaporímetro
- CWR:** Necesidad mensual de agua
- VAN:** Valor actual neto
- TIR:** Tasa interna de retorno
- PIR:** Período de recuperación de la inversión

## RESUMEN

El sector agrícola requiere una gran cantidad de agua para suplir la demanda de los cultivos durante todo el año, y esto representa un problema en lugares en los cuales la precipitación no es suficiente para abastecer esa cantidad de agua, o donde existen temporadas secas. En estos casos, se vuelve necesario contar con sistemas de abastecimiento complementarios que permitan suplir la necesidad de agua de los cultivos durante estos periodos.

Existen varias alternativas que pueden solucionar este déficit hídrico, entre ellas está el método de recolección de niebla que se basa en recolectar agua del aire. Es así que, se propone evaluar la eficiencia de captación de agua mediante el diseño y construcción de dos prototipos de captadores de niebla con diferentes geometrías en el barrio Catzuqui de Moncayo, ubicado al noroccidente de la ciudad de Quito (3200 msnm). Esta zona cuenta con un alto potencial agrícola, pero su sistema actual de riego es insuficiente para cubrir la totalidad de su área cultivable. Para esto, se realizó la caracterización climática de la zona de estudio, luego se diseñaron y construyeron dos captadores de niebla: bidimensional y tridimensional (octogonal). Además, se analizó el ciclo de vida del proceso de construcción de los captadores para comparar y evaluar su rendimiento con su posible impacto ambiental. Así también, se desarrolló el análisis económico mediante el VAN y TIR. Finalmente, se determinó la necesidad de riego para establecer el número de colectores requeridos para satisfacer el déficit hídrico para un cultivo de la zona. Los resultados determinaron que, durante los cinco meses de estudio, el diseño bidimensional tuvo la mayor captación de agua de niebla con 476.1 l/m<sup>2</sup>, mientras que el tridimensional capturó un valor de 352.5 l/m<sup>2</sup>. Adicionalmente, se determinó que, durante la construcción, el bidimensional emitió menor cantidad de dióxido de carbono que el tridimensional, pero se consumió igual cantidad de agua. Con respecto al análisis económico se estableció que el proyecto no es viable económicamente. Finalmente, se estimó que para cubrir el 10 % de la demanda total de riego se requieren 15 captadores de niebla de 40 m<sup>2</sup> cada uno.

**Palabras Clave:** Captador de niebla, Evapotranspiración, Análisis de ciclo de vida

## ABSTRACT

The agricultural sector requires a large amount of water to satisfy the demand of crops throughout the year, and this represents a problem in places where rainfall is not enough to supply that amount of water, or where there are dry seasons. In these cases, it becomes necessary to have complementary supply systems that allow the crops water needs to be met during these periods.

There are several alternatives that can solve this water deficit, among them is the fog collection method that is based on collecting water from the air. Thus, it is proposed to evaluate the efficiency of water collection through the design and construction of two prototypes of fog collectors with different geometries in the Catzuqui de Moncayo neighborhood, located northwest of the city of Quito (3200 masl). This zone has a high agricultural potential, but its current irrigation system is insufficient to cover all of its cultivable area.

For this, the climatic characterization of the study area was carried out, then two fog collectors were designed and built: bidimensional and tridimensional (octagonal). In addition, the life cycle of the collector construction process was analyzed to compare and evaluate their performance with their possible environmental impact. Likewise, the economic analysis was developed through the NPV and IRR. Finally, the need for irrigation was determined to establish the number of collectors required to satisfy the water deficit for a crop in the area.

The results determined that, during the five months of the study, the bidimensional design had the highest fog water capture with 476.1 l/m<sup>2</sup>, while the tridimensional captured a value of 352.5 l/m<sup>2</sup>. Additionally, it was determined that, during construction, the bidimensional model emitted less carbon dioxide than the tridimensional model, but the same amount of water was consumed. Regarding the economic analysis, it was established that the project is not economically viable. Finally, it was estimated that to cover 10% of the total irrigation demand, 15 mist collectors of 40 m<sup>2</sup> each are required.

**Keywords:** Fog collector, Evapotranspiration, Life cycle analysis

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al crecimiento de la población mundial, el sector agrícola y ganadero está siendo presionado a que produzca alimentos en grandes cantidades para cubrir esa demanda (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, 2017). Sin embargo, debido al cambio climático, expansión de las zonas agrícolas, cambio de uso del suelo y, en general, la contaminación de los recursos hídricos es posible que no se pueda abastecer esa creciente demanda de manera sostenible (Fessehayé et al., 2014). Por lo tanto, este sector se ve obligado a ser más eficiente y evitar el desperdicio de recursos (Riera & Pereira, 2013).

Uno de esos recursos es el agua. Los sectores agrícola y ganadero tienen una demanda de agua significativa todo el año (Mekonnen & Hoekstra, 2011). En muchos lugares, la precipitación no es suficiente para otorgar esa cantidad de agua, o existen temporadas secas. Esto significa que es necesario contar con sistemas de riego complementario que permitan suplir la necesidad de agua de los cultivos durante estos periodos. Sin embargo, no siempre es factible implementar obras hidráulicas que permitan abastecer y suplir este requerimiento hídrico adicional, especialmente en zonas remotas. Razón por la cual, se deben considerar fuentes no convencionales como una solución viable para cubrir este déficit (Abdul-Wahab & Lea, 2008; Fessehayé et al., 2014; Qadir et al., 2018).

### 1.2. ANTECEDENTES

El Ecuador tiene un gran potencial para mejorar su sector agrícola y ganadero, y así incrementar la producción actual de alimentos tanto para consumo interno como para exportación (Viteri & Tapia, 2018). Sin embargo, para lograr este desarrollo socio-económico, el país debe invertir en procesos de tecnificación y fomento del sector agrario. Actualmente existen zonas agrícolas que son desaprovechadas precisamente debido a la falta de tecnificación, y en específico en sistemas de riego (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca, 2016). Este es el caso

del barrio Catzuqui de Moncayo, ubicado en la ciudad de Quito, que es una zona con alto potencial agrícola cuyo sistema actual de riego es insuficiente para cubrir la totalidad del área cultivable del sector (Junta de Regantes, comunicación personal, Marzo 3, 2021). En el pasado, se ha intentado expandir el sistema de riego para cubrir estas zonas, pero esto ha sido imposible debido a que son sitios inaccesibles y, además, la provisión actual de riego ni siquiera es suficiente para cubrir las zonas para las que fue diseñado originalmente (Junta de Regantes, comunicación personal, Marzo 3, 2021). Es por esta razón que, se buscan alternativas que den solución a este déficit de recurso hídrico para zonas potencialmente agrícolas.

Dentro de las varias alternativas, existen los métodos de recolección de niebla, que es una técnica sostenible, simple y rentable para recolectar agua del aire, y que ha sido probada con éxito en muchos casos de estudio (Korkmaz & Kariper, 2019). En el país se han realizado algunos proyectos con respecto a este tema, por ejemplo, en el 2016 se instalaron captadores de niebla en el páramo del cerro Shaushi en Tungurahua, con el fin de obtener agua para riego para el cantón Quero (Ministerio del Ambiente y Agua, 2016). También se han realizado estudios y diseños de captadores de niebla desde la academia, incluyendo una tesis publicada por la Facultad de Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional desarrollada por Echeverría (2018), en la cual se determina la factibilidad de la captura de neblina para uso doméstico rural y riego en San Cristóbal, Galápagos.

El barrio Catzuqui de Moncayo está ubicado en las faldas del Pichincha. Es un lugar con presencia constante de niebla, por lo que, la captura y recolección de agua proveniente de la niebla podría ser una alternativa viable para la provisión de agua de riego para esta zona. Sin embargo, debido a que este es un problema real y actual de esta zona, no solo prima la viabilidad técnica sino también que sea económicamente viable y sostenible como para que sea considerada una alternativa para provisión de riego.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar, construir y analizar el ciclo de vida de dos prototipos de captadores de niebla para obtener agua para riego en el barrio Catzuqui de Moncayo.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Realizar una caracterización meteorológica en la zona de estudio.
- 2) Diseñar y construir dos prototipos de captadores de niebla.
- 3) Evaluar el funcionamiento de los captadores de niebla.
- 4) Realizar el análisis de ciclo de vida de los captadores de niebla mediante la estimación de huella de carbono y huella hídrica.
- 5) Realizar el análisis económico del sistema.

### **1.4. ALCANCE**

Para la presente investigación, se pretende determinar la eficiencia de captación de agua mediante el diseño y construcción de dos prototipos de captadores de niebla, con el fin de brindar una alternativa económica, sostenible y eficiente para fuente de suministro de agua para riego en el Barrio Catzuqui de Moncayo. Se realizará la caracterización de la zona de estudio con el fin de seleccionar de manera adecuada los materiales, el diseño de la estructura y la ubicación de los prototipos en el lugar. Además, se analizará el ciclo de vida de los captadores de niebla para comparar su rendimiento operacional, con su posible impacto ambiental. De esta manera, no solo se proveerá de una solución técnica a la problemática actual, sino también sostenible.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Pascual et al., (2011), definen a la niebla como un hidrometeoro formado por un conjunto visible de gotitas de agua o cristales de hielo, lo suficientemente pequeñas para mantenerse suspendidas en la atmósfera cerca de la superficie terrestre. La niebla es una fuente potencial de agua que podría explotarse como fuente de agua alternativa, o complementaria, utilizando tecnología de recolección de niebla. Es

decir, haciendo uso de un dispositivo captador de niebla (Fessehaye et al., 2014; Rivera, 2011). Es por esta razón que, durante las últimas décadas, diferentes países han considerado a la niebla como una fuente de agua no convencional viable para suplir necesidades de consumo humano, agrícola y ganadero (Fessehaye et al., 2014; Seo et al., 2016).

Un captador de niebla se basa en el uso de una malla vertical que atrapa las gotas de agua suspendidas en la niebla cuando esta la atraviesa. Después de un tiempo, cuando las gotas se acumulan en la malla se precipitan hacia un tanque de almacenamiento para ser usadas en las diferentes aplicaciones, como por ejemplo la agricultura (Abdul-Wahab & Lea, 2008; Fessehaye et al., 2014). En la última década, se ha identificado que esta técnica para recolectar agua de niebla ha sido utilizada con éxito en más de 17 países (Korkmaz & Kariper, 2019), incluyendo España, Perú, Ecuador, República Dominicana, Sudáfrica, Nepal, Cabo Verde, Namibia, México, Israel, Arabia Saudita, Yemen y en el Sultanato de Omán (Pascual et al., 2011).

Sin embargo, a pesar de todo este vasto conocimiento sobre el tema, en la literatura nacional e internacional todavía no se han realizado estudios que definan los posibles impactos ambientales de la construcción de estos dispositivos. Además, debido a las grandes variaciones climáticas, geográficas y de requerimientos, el diseño de un captador de niebla debe realizarse para cada caso en específico. Por ejemplo, Korkmaz & Kariper (2019), mencionan que los dispositivos más eficientes para los mecanismos de recolección de niebla son los captadores de niebla estándar y los captadores de niebla grandes, que generalmente están compuestos por mallas de polipropileno que son mallas Raschel. Sin embargo, debido a su frágil estructura, las mallas Raschel no se pueden utilizar en lugares donde existen fuertes vientos. Por lo tanto, no es posible tomar un sistema como único y usarlo en cualquier locación; es necesario realizar el estudio respectivo antes de construir un sistema de captación de niebla.

### 1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El número, tamaño y tipo de captadores de niebla que se instalarán dentro de un sistema de captación de niebla dependen de las características de la niebla (como el grosor de la niebla), la duración y la frecuencia de ocurrencia, así como el clima y la topografía del área, la demanda de agua y las condiciones financieras (Qadir et al., 2018). Esto debido a que el rendimiento de la recolección de agua va a depender de muchos factores específicos del lugar de aplicación, como por ejemplo la velocidad del viento, la distribución del tamaño de las gotas y las características de la malla (Rivera, 2011).

En el proceso de diseño de un sistema de captación, se podría tratar de definir estos elementos mediante simulaciones o modelos matemáticos complejos. Sin embargo, la forma más usada en la literatura especializada para definir el diseño es mediante cuatro pasos consecutivos: 1) se hace una caracterización meteorológica del lugar para definir las principales variables climáticas; 2) se realiza un diseño preliminar del sistema de captación basado en revisión bibliográfica; 3) se construye un prototipo a escala del diseño preliminar; y 4) se analizan los resultados obtenidos. Por ejemplo, Estrela et al., (2008), analizan el potencial de recolección de agua de niebla en cuatro lugares de la región de Valencia, en la costa este de la Península Ibérica, donde realizaron la caracterización meteorológica mediante el uso de datos medidos de temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento. Posteriormente, diseñaron e instalaron un captador de niebla experimental y finalmente, realizaron un análisis sobre lo observado en cada sitio con el captador de niebla. En el caso de que se quiera hacer un análisis comparativo entre diferentes dispositivos, entonces usualmente se realizan dos o más prototipos que serán instalados en el mismo lugar para poder comparar bajo condiciones similares (Gandhidasan & Abualhamayel, 2007).

La sostenibilidad de un producto o dispositivo puede definirse cuantitativamente mediante el análisis de su ciclo de vida (ISO 14040, 2006). Durante este análisis se realiza un inventario de los materiales y acciones que deben llevarse a cabo a lo largo de la cadena de valor que generará el producto o dispositivo final, se calculan

los indicadores definidos para definir los posibles impactos, y se interpretan los resultados (ISO 14040, 2006). Dependiendo de la profundidad y detalle que se requiera, un análisis de ciclo de vida de un captador de niebla puede limitarse a realizar un análisis desde la cuna de las materias primas hasta su desecho (cradle-to-grave), desde la cuna hasta la elaboración del dispositivo (cradle-to-gate), o incluso desde la puerta de la extracción y producción de las materias primas hasta la elaboración del dispositivo (gate-to-gate) (Klöpffe & Grahl, 2014).

### **1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Este trabajo pretende brindar una posible solución a una problemática importante que se evidencia en una zona del Barrio Catzuqui de Moncayo. Lugar que debido a varios factores ambientales, sociales y económicos no cuenta con acceso a un suministro de agua para riego, lo que impide desarrollar el potencial agrícola que tiene el sector. Además, considerando que el riego actual solamente es provisto para una parte de la población del lugar, este no es solo un problema técnico, sino de equidad.

La metodología que se aplicará en esta investigación y los resultados que se obtendrán podrán ser usados en otros casos de estudio dentro de la región que no cuenten con fuentes de abastecimiento de agua. Adicionalmente, este tipo de iniciativas que aprovechan el recurso niebla podrían ser consideradas en la planificación de recursos hídricos y sistemas de abastecimiento no convencionales de agua fresca para las ciudades. Esta técnica puede ser útil para entidades gubernamentales a cargo de la gestión de los recursos hídricos y planificación territorial, en especial en zonas rurales o alejadas que no tienen acceso al agua. En general, personas y/o entidades que busquen alternativas que se encaminen hacia la sostenibilidad del recurso agua y al mismo tiempo permitan obtener beneficios socioambientales.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ESTADO DEL ARTE

Desde hace varios años los investigadores han comenzado a centrarse en buscar alternativas que brinden una solución a la ausencia de agua dulce en algunas partes del mundo. Es así como se han desarrollado métodos atractivos y de bajo costo para satisfacer la necesidad de agua limpia, siendo un ejemplo la recolección de agua de lluvia. Sin embargo, la recolección de agua de lluvia se comprende en un área limitada y considerando que no hay lluvias en las regiones áridas hizo que los estudios en este campo no satisfagan todas las necesidades (Kariper, 2021). Otro ejemplo, es la recolección de niebla, entre los recursos hídricos no convencionales el potencial para recolectar agua del aire, como la recolección de niebla, es con mucho el menos explorado (Qadir et al., 2018). Es posible recolectar agua en áreas con niebla en regiones cálidas y áridas, es una opción pasiva, de bajo mantenimiento y sostenible que puede suministrar agua a las comunidades donde los eventos de niebla son comunes (Qadir et al., 2018).

La acumulación de niebla con el fin de producir agua limpia ha atraído una atención cada vez mayor en las últimas décadas (Klemm et al., 2012). La niebla tiene el potencial de proporcionar una fuente alternativa de agua dulce en regiones que tienen necesidad de agua fresca, si se recolecta mediante el uso de sistemas de recolección simples y de bajo costo conocidos como captadores de niebla. Es particularmente atractivo en áreas donde las fuentes de agua convencionales son inexistentes o están desapareciendo (Batisha, 2015). A continuación, en la tabla 1 se describen brevemente algunas investigaciones en torno al tema a lo largo de los años.

**Tabla 1.***Estudios sobre captación de agua de niebla alrededor del mundo*

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Lugar</b>	<b>Tipo</b>	<b>Resumen</b>	<b>Principales resultados</b>
A Neglected Water Resource: The Camanchaca of South America	Schemenauer et al.	1988	El Tofo Chile	Revista	En la década de 1980 se realizó una investigación en la región de Coquimbo, en los alrededores de El Tofo, se instalaron 50 captadores de niebla (Schemenauer et al., 1988).	El proyecto proporcionó agua a unas 100 familias en sus hogares, a mediados de los años noventa el proyecto se entregó a la población local. Sin embargo, después de muchos años de operación exitosa, el funcionamiento de los captadores de niebla se detuvo debido a malas decisiones, crecimiento de la población y falta de mantenimiento (Schemenauer et al., 1988).
Los atrapanieblas del Santuario Padre Hurtado y sus proyecciones en el combate a la desertificación	Osses et al.,	2000	Padre Hurtado Chile	Revista	El Santuario Padre Hurtado es una iglesia ubicada en Chile, en la cual se instaló un sistema de captación de agua de niebla en el año 1999 para dotar de agua al lugar. Este sistema de 10 atrapanieblas comprendió una superficie de 400 m <sup>2</sup> de malla ubicados en el cerro Talinay (Osses et al., 2000).	Los resultados indicaron que en promedio se recogía 2 l/ m <sup>2</sup> d, haciendo posible el uso en varias actividades dentro del santuario (Osses et al., 2000).
Fog measurements at the site "Falda Verde" north of Chañaral compared with other fog stations of Chile	Cereceda et al.,	2002	Falda Verde Chile	Revista	Se recogen datos mediante un colector de niebla estándar (SFC) instalado en la costa del norte del puerto chileno Chañaral, a una altura de 600 m en el sitio Falda Verde (Cereceda et al., 2002).	En el sitio se registró una media de 1.46 l/m <sup>2</sup> d después de 2 años de mediciones, representando uno de los rendimientos más bajos de la costa norte de Chile (Cereceda et al., 2002).

Exploring fog as a supplementary water source in Namibia	Shanyengana & Henschel	2002	Namibia	Revista	Namibia es un país árido donde muchos centros rurales y urbanos dependen de fuentes limitadas para su abastecimiento de agua. Los estudios se realizaron con colectores de niebla estándar de 1 m <sup>2</sup> fabricados con la malla Raschel que se usa en los SFC desde 1996 (Shanyengana & Henschel, 2002).	Los resultados indican que la niebla se presenta durante todo el año. Se obtuvo que la recolección de niebla promedio diaria en los sitios de prueba fue de 508 ml/m <sup>2</sup> d en Gobabeb, 3308 ml/m <sup>2</sup> d en Klipneus y 2390 ml/m <sup>2</sup> d en Swartbank y concluyen que la niebla es una fuente viable de agua en Namib y podría complementar las fuentes tradicionales (Shanyengana & Henschel, 2002).
Fog Collection Projects Hajja and Saada, Yemen	Schemenauer	2004	Yemen	Revista	En 2004 Yemen se construyeron 25 colectores de niebla grandes (LFC) para cuatro comunidades cercanas a la ciudad de Hajja (Schemenauer, 2004).	Los investigadores concluyeron que la tasa de producción de un par de LFC es de aproximadamente 360 l/d en el período seco de invierno. Se estima que esta cantidad podía satisfacer las necesidades para 36 personas en un nivel de subsistencia, o 12 personas (dos familias) en un generoso 30 l/persona por día (Schemenauer, 2004).
Fog collection projects	Schemenauer	2007	Eritrea	Revista	Se instalaron veinte grandes colectores de niebla (LFC) en las aldeas de Nefasit y Arberobue con el fin de aumentar el acceso al agua potable para las escuelas y 120 familias (Schemenauer, 2007).	Se concluyó que los resultados indicaron una buena producción de agua de niebla. En los años posteriores el proyecto enfrentó algunos desafíos importantes en su gestión, una de las razones fue que los colectores necesitaban un alto mantenimiento y una supervisión cercana durante las condiciones de fuertes vientos (Schemenauer, 2007).

<p>Total fog and rainwater collection in the Dhofar region of the Sultanate of Oman during the monsoon season</p>	<p>Abdul-Wahab et al.,</p>	<p>2010</p>	<p>Omán</p>	<p>Revista</p>	<p>Entre los años 1989 y 1990 se desarrolló un experimento de recolección de niebla mediante la construcción de grandes colectores de niebla en la región montañosa de Dhofar durante la temporada de monzones. En donde analizaron tres tipos diferentes de material de pantalla: malla sombra de aluminio, malla sombra de plástico verde y placa sólida de aluminio (Abdul-Wahab et al., 2010).</p>	<p>Se halló que en elevaciones superiores de 900 a 1000 msnm se registraron valores promedio de recolección altas de 30 l/d para el período del monzón. Y concluyen que la malla de sombra de aluminio recolectó la mayor cantidad de agua (Abdul-Wahab et al., 2010).</p>
<p>Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives</p>	<p>Klemm et al.,</p>	<p>2012</p>	<p>Tojquia Guatemala</p>	<p>Revista</p>	<p>Tojquia es un pueblo que se ubica en Guatemala, en el Altiplano Occidental a 3300 m sobre el nivel del mar. En 2006 se registró una gran captación de agua de niebla. En el 2012 habían 35 captadores de niebla grandes (LFC) instalados (Klemm et al., 2012).</p>	<p>Se obtuvo un promedio de 6300 l/d y 4.5 l/m<sup>2</sup>d durante los 4 a 6 meses de la estación seca de invierno. Y en la temporada de lluvias, la producción de agua fue mayor debido a la acumulación de agua de lluvia y de niebla. Sin embargo, un problema que se tuvo fueron las altas velocidades del viento por lo que la gente tuvo que recibir capacitación sobre cómo reparar y mantener los captadores (Klemm et al., 2012).</p>

Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives	Klemm et al.,	2012	Península Ibérica	Revista	En 2003 se instaló un sistema para recolectar agua de niebla en la franja oriental de la Península Ibérica en España, que comprende una extensión aproximada de 800 km. Se instalaron veinticuatro colectores de niebla en 19 ubicaciones diferentes. El agua de niebla fue recolectada mediante colectores de niebla pasivos cilíndricos formados de alambre de nailon o malla Raschel, en combinación con sensores meteorológicos adicionales (Klemm et al., 2012).	se registraron resultados totales de 7 l/m <sup>2</sup> d en algunos lugares, lo que determina el potencial que tiene la niebla en el sistema hidrológico de esta zona. En 2007 se desarrolló un proyecto en el cual se utilizó un LFC para recolectar agua de niebla como recurso hídrico complementario para restauración forestal en el cerro Machos (Klemm et al., 2012).
Agua de Niebla: Nuevas Tecnologías para el Desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas	(Cereceda et al., 2014)	2014	Falda Verde Chile	Libro	En 2007, un grupo de comuneros con apoyo externo lograron implementar 9 captadores de niebla elaborados con dos palos de eucaliptos de seis metros de altura en sus extremos y en el centro una malla de invernadero o Raschel tensada entre los dos palos (Cereceda et al., 2014).	Se obtuvo valores entre 500 a 750 l/d. El destino de esta agua además del uso doméstico fue para el riego de una especie de aloe vera presente en el lugar y para otros cultivos en invernaderos (Cereceda et al., 2014).

**Fuente:** Varios

## **2.2. EL RIEGO EN EL ECUADOR**

### **2.2.1. IMPORTANCIA DEL RIEGO**

Los cultivos para poder crecer y desarrollarse requieren recibir agua del suelo. La absorción del agua se complica cuando el contenido de humedad es bajo, para restablecer esto es necesario el riego con el fin de que el agua se encuentre disponible para las plantas (Demin, 2014). El uso de agua dulce en el riego surgió en las primeras civilizaciones del mundo y en la actualidad sigue siendo fundamental para el suministro de alimentos del planeta (Edwards & Nehra, 2019). El riego comprende múltiples y diversas funciones en ámbitos como: producción agrícola, desarrollo territorial y economía agraria.

Con respecto a la producción agrícola, el riego es un elemento importante para enfrentar y disminuir la falta de productividad debido a la irregularidad de los ciclos estacionales como, por ejemplo: periodos de lluvias cortos, o veranos largos (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019). Así también, permite el incremento y diversificación de los cultivos. Por ejemplo, el riego permite el desarrollo de nuevos cultivos en lugares que no han sido considerados para producirlos debido a las condiciones climáticas adversas. Además, cuando el riego obtiene importancia local, suele haber un mejoramiento de la economía local y de las condiciones de vida familiar (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).

El riego se relaciona con el desarrollo territorial debido a que es el resultado de procesos de organizaciones sociales, agro productivas, que han permitido mejorar la economía local y por consiguiente las condiciones de la vida familiar (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019). Teniendo que cuando el riego se vuelve significativo a nivel local, se observa una disminución en proceso de migración, se reduce la presión social sobre la tierra e incluso disminuye la presión sobre los ecosistemas que son dañados con la expansión de la frontera agrícola (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).

El aporte de la actividad agrícola en la economía se considera como fundamental para el país (aproximadamente representa el 17% del PIB). Se estima que, de esta

producción, el 70% se encuentra bajo regímenes de riego estacional (Zapatta & Gasselin, 2005). De manera que, el riego tiene una importancia económica para el país.

### **2.2.2. PROBLEMAS DE RIEGO**

Según los datos del Tercer Censo Agropecuario (Proyecto Sica et al., 2002), se manifiesta que la superficie total bajo riego en el Ecuador es de 853 332 has. Sin embargo, esta superficie representa alrededor de la cuarta parte de la superficie potencialmente regable, la cual se estima que es de 3'130 000 has (Zapatta & Gasselin, 2005). Del total de la superficie bajo riego, es decir las 853 332 has, el Estado ha construido sistemas de riego que cubren una superficie de aproximadamente el 24 %, lo que corresponde a 201 000 has. El otro 76 % restante, han sido sistemas de riego provenientes de sectores empresariales, particulares y comunitarios (Zapatta & Gasselin, 2005).

La región de la Sierra se caracteriza por tener cuencas montañosas y una variedad de sistemas de riego de montaña. Sin embargo, factores como el crecimiento de la población y la intensificación de la agricultura han provocado el aumento de la escasez en la oferta de agua en distintos sistemas de riego.

Por esta razón, se han impulsado algunas inversiones entorno al mejoramiento para una mayor eficiencia de los canales de conducción, así como en la construcción de reservorios de fuentes de agua (Sosa & Larrea, 2014). Aun así, esto no ha sido suficiente. En consecuencia, hay una gran necesidad de aumentar la eficiencia del uso de agua en la aplicación para riego a cultivos, o a su vez buscar maneras de recuperar el agua mediante tecnologías como captadores de lluvia o niebla, entre otras.

### **2.2.3. NECESIDAD DE AGUA EN LOS CULTIVOS**

Las plantas se desarrollan con normalidad con la presencia de dos componentes principales, oxígeno que captan por medio de sus hojas y los nutrientes que provienen desde el suelo a través de sus raíces (Vallecillo, 1999). Es importante mencionar que, estos nutrientes se encuentran disueltos en agua y por esta razón pueden ser absorbidos por sus raíces. Entonces, en casos en los cuales no hay

suficiente abastecimiento de agua, no es posible que la planta adquiera sus nutrientes, impidiendo su crecimiento y el desarrollo de frutos.

Así como es perjudicial para el crecimiento de la planta la falta de agua, también lo es el exceso debido a que se genera un ambiente saturado dificultando que las raíces de la planta asimilen los nutrientes disueltos en el suelo. Esta acción conlleva a que la planta se marchite y de esta manera se ponga en peligro el rendimiento del cultivo (Vallecillo, 1999). Considerando que el riego es una alternativa para abastecer la cantidad necesaria de agua a cada cultivo en casos en los que no sea posible hacerlo de manera natural por medio de la precipitación, es importante tomar en cuenta que no se debe exceder la cantidad de agua necesaria. Por esta razón, Vallecillo (1999) menciona que es importante utilizar un método que permita calcular la necesidad de agua de los cultivos para distribuir solo la cantidad de agua que las plantas requieren para su desarrollo.

#### **2.2.4. NECESIDAD DE RIEGO**

Durante el proceso de evapotranspiración el cultivo pierde agua, para compensar esta pérdida se requiere una cantidad de agua adicional, a lo cual se le denomina necesidad de agua del cultivo (FAO, 2006). Sin embargo, aunque este valor de evapotranspiración del cultivo corresponde al mismo de la necesidad de agua del cultivo, se diferencian por sus definiciones conceptuales.

Por un lado, la evapotranspiración del cultivo consiste en la cantidad de agua que se ha perdido a través del proceso de evapotranspiración. Mientras que la necesidad de agua del cultivo se relaciona con la cantidad de agua que la planta requiere para su desarrollo, el cual debe ser proporcionado por medio de precipitación o riego (FAO, 2006).

La necesidad de riego básicamente representa la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva. Es decir que, si la precipitación resulta ser insuficiente para satisfacer la demanda del cultivo, este déficit deberá ser cubierto por medio de algún método o sistema de riego.

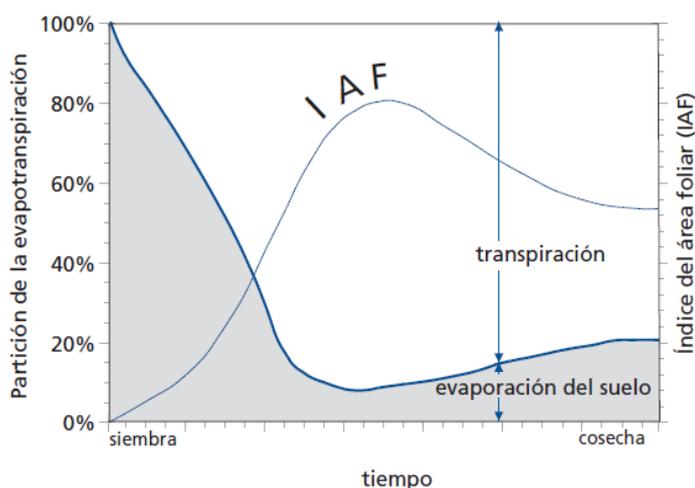
### 2.2.5. INTRODUCCIÓN A LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

A continuación, se describen conceptos importantes para entender de mejor manera en qué consiste la evapotranspiración:

- **Evapotranspiración (ET)**

Se refiere a la cantidad de agua que se pierde en los procesos de evaporación y transpiración de un cultivo (Vallecillo, 1999). El proceso de evaporación se define como la transformación de agua líquida en vapor de agua proveniente desde una superficie que puede ser: caminos, ríos, lagos, suelos y plantas (FAO, 2006). Por otra parte, la transpiración es un proceso mediante el cual, el agua presente en los tejidos de la planta se evapora y posteriormente es devuelta hacia la atmósfera (FAO, 2006).

De acuerdo con la FAO (2006), la evaporación de un suelo con cultivos es principalmente influenciada por la cantidad de radiación solar que llega hasta el suelo, esta cantidad de radiación solar se reduce mientras el ciclo del cultivo va haciendo que el dosel genere mayor sombra. En la figura 1, se muestra de manera gráfica el comportamiento del proceso de evapotranspiración. Donde se puede observar que el suelo pierde agua principalmente por evaporación durante las primeras etapas del cultivo y a medida que se desarrolla su vegetación y hace que se cubra el suelo es el proceso de transpiración el que va tomando relevancia hasta convertirse en el proceso principal (FAO, 2006).



**Figura 1.** Evaporación y transpiración en el crecimiento de un cultivo anual.

Fuente: (FAO, 2006)

### **2.2.6. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN**

La cantidad de evapotranspiración va a depender de ciertas condiciones a la que se encuentra expuesta. La influencia de estos factores se describe a continuación:

#### **a) Variables Meteorológicas**

Las principales variables que influyen directamente sobre la evaporación y transpiración son: temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación solar y velocidad del viento (FAO, 2006).

#### **b) Factores de Cultivo**

La cantidad de evapotranspiración va a variar dependiendo de las características de cada tipo de cultivo, tal como: altura del cultivo, robustez, cobertura del suelo, condición de las raíces, reflejo y resistencia a la transpiración (FAO, 2006).

#### **c) Condiciones del suelo**

El crecimiento normal del cultivo y por ende la cantidad de evapotranspiración pueden ser afectados por la presencia de condiciones inadecuadas del suelo como: salinidad, infertilidad del suelo, mal manejo del suelo, poco o nulo control de enfermedades y plagas, debido a (FAO, 2006).

## **2.3. LA NIEBLA Y SU POTENCIAL COMO FUENTE HÍDRICA NO CONVENCIONAL**

### **2.3.1. LA NIEBLA**

En las definiciones meteorológicas se denomina que la niebla está compuesta por pequeñas gotas de agua y que está presente cuando la visibilidad es inferior a 1 km. Batisha (2015), describe a la niebla en términos más simples, como una nube que toca el suelo, y menciona que el tipo de niebla está determinado por el proceso físico de su formación. El aire a nivel del suelo puede contener niebla, que se refiere a la presencia de gotas de agua líquida en suspensión con diámetros típicamente de 1 a 50  $\mu\text{m}$  (Qadir et al., 2018). La niebla se origina por la acumulación y suspensión de estas diminutas gotas de agua en el aire, creando masas de aire húmedo sobre la tierra o el mar.

La recolección de gotas de niebla se logra, artificialmente, mediante la colisión de gotas suspendidas en una malla vertical, donde se fusionan, luego de lo cual el agua corre hacia un desagüe recolector y un tanque o sistema de distribución (Qadir et al., 2018). La cantidad de recolección depende del diámetro de las gotas, la velocidad del viento y la naturaleza de la superficie de recolección (Batisha, 2015).

### 2.3.2. TIPOS DE NIEBLA SEGÚN SU FORMACIÓN

A continuación, se describen cinco tipos de niebla clasificadas de acuerdo con el proceso de formación que depende de las condiciones externas. Los tipos de niebla son:

- Niebla de radiación
- Niebla de advección
- Niebla orográfica
- Niebla frontal
- Niebla de evaporación

**a) Niebla de radiación.** – es menos común que los otros tipos de niebla. Se forma cuando el suelo se enfría por radiación, y por ende el aire junto a él lo que ocasiona que el aire alcance la temperatura de rocío dando como resultado la formación de gotas de agua y dando lugar a que posteriormente se forme la niebla (Sarochar, 2009).

**b) Niebla de advección.** – es el resultado del enfriamiento de aire durante el movimiento horizontal, se genera por el desplazamiento de una corriente de aire cálido y húmedo sobre una superficie más fría. Este tipo de niebla frecuentemente a lo largo de las costas, en especial en la temporada de invierno, cuando el aire húmedo se desplaza desde el mar hasta la superficie (Sarochar, 2009).

**c) Niebla orográfica.** – Se desarrolla cuando el aire que contiene cierta humedad asciende por la inclinación o pendiente de una superficie plana en alguna montaña, haciendo que se enfríe adiabáticamente y alcance su punto de rocío haciendo que se forme la niebla (Sarochar, 2009).

**d) Niebla frontal.** – La formación de este tipo de niebla es debido a la lluvia que desciende desde el sector caliente, haciendo que el agua que cae tenga mayor temperatura que el aire del entorno, lo que ocasiona que las gotas de lluvia se evaporen y el aire se sature. De esta manera se desarrollan las nubes bajas o niebla dentro del aire frío (Sarochar, 2009). Se considera que esta es la formación de niebla más importante a nivel continental.

**d) Niebla de evaporación.** – Se origina por el desplazamiento de una corriente de aire frío sobre el mar o fuentes de agua que tienen mayor temperatura. Lo que ocasiona que el vapor de agua se incorpore desde la fuente de agua al aire, haciendo que el aire se sature y las gotas de agua se condensen y formen niebla (Sarochar, 2009).

## **2.4. VARIABLES CLIMÁTICAS**

### **2.4.1.1. Precipitación (mm)**

La precipitación se refiere a la caída de agua líquida o sólida desde el cielo que llega al suelo, puede presentarse de diferentes formas, las más comunes son: granizo, nieve y lluvia (Inzunza, 2019). Un dato importante que Domínguez et al., (2019), mencionan en su investigación es que en ocasiones la precipitación está acompañada por niebla, especialmente en lugares donde las precipitaciones son de tipo orográficas.

### **2.4.1.2. Humedad Relativa (%)**

Se expresa como porcentaje e indica que tan próximo se encuentra el aire de alcanzar la saturación (Inzunza, 2019). Influye en el proceso de condensación debido a que el exceso de vapor se condensa en gotas de agua cuando el vapor de agua en el aire alcanza la saturación. Se puede mencionar que a mayor humedad relativa existe mayor posibilidad de que haya presencia de niebla (Inzunza, 2019).

### **2.4.1.3. Temperatura de Punto de Rocío (°C)**

Esta variable es importante debido a que el agua empieza a condensarse cuando el vapor de aire se satura, lo que sucede cuando la temperatura del aire se iguala

a la temperatura del punto de rocío (Inzunza, 2019). Entre menos diferencia haya para que se igualen existe mayor posibilidad de que se genere niebla, neblina o rocío.

#### **2.4.1.4. Velocidad del Viento (km-h)**

El viento corresponde al aire en movimiento resultado de las diferencias de presión atmosférica (Inzunza, 2019). Los autores Gómez & Quinteros (2020) resaltan en su investigación la influencia considerable que tienen las variables de orientación del viento y su velocidad en la colección de agua de niebla y mencionan que entre más presencia de viento exista, hay mayor posibilidad de que más gotas pasen a través de la malla y por ende se recoja mayor agua.

## **2.5. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE NIEBLA**

Los captadores de niebla son dispositivos que permiten la colisión y acumulación de las gotas de agua suspendidas en la niebla que viajan casi horizontalmente mediante el uso malla vertical (Abdul-Wahab & Lea, 2008). En la discusión científica, los captadores de niebla han sido estudiados durante muchos años en búsqueda de un captador económico, sostenible y eficiente.

Los investigadores se han centrado en el material de las mallas colectoras de niebla, sus dimensiones, ángulos de instalación, en la intensidad del viento y el clima de la región c. En especial, se han identificado varios estudios que buscan analizar la eficiencia de la malla captadora ya que esta es uno de los parámetros más importantes en las técnicas de recolección de niebla. Por ejemplo, en un caso estudiado en Omán, se ha diseñado nuevos captadores de niebla con malla de acero, consiguiendo un resultado exitoso (Pascual et al., 2011). En Sudáfrica, el material de la malla que se usa es un hilo de poliéster co-tejido con acero inoxidable que proporciona resistencia y estabilidad a la malla (Van Heerden et al., 2010) y una estructura de red tridimensional (10 mm de espesor) de malla plástica de Alemania (Klemm et al., 2012). Además, otros materiales como el polipropileno, polietileno, nailon y aceros inoxidables con diferentes grados de hidrofobia han sido estudiados y usados para captadores de niebla. Sin embargo, el más usado sigue

siendo la malla de sombra de polietileno tipo Raschel debido a su gran eficiencia y bajo costo (Batisha, 2015).

Históricamente, los captadores de agua de niebla han sido definidos para proporcionar agua a zonas áridas con necesidad de agua para consumo humano. Sin embargo, existen lugares que podrían beneficiarse de captadores de niebla, aunque no sean considerados zonas áridas o semiáridas, debido a las bajas precipitaciones que tienen, por la existencia de períodos estacionales de sequía, o falta de acceso a fuentes convencionales de agua (Carter et al., 2016).

### **2.5.1. CAPTADORES DE NIEBLA BIDIMENSIONAL**

Se compone principalmente de un área de colección que, generalmente es malla Raschel, la cual se tensa entre dos columnas empotradas en el suelo (Figura 2). La instalación se recomienda que sea perpendicular a la dirección del viento. Este modelo puede cambiar en dimensiones y materiales de acuerdo con las condiciones del lugar y las necesidades de la población (Cereceda et al., 2014).

Cereceda et al., (2014), mencionan que las estructuras bidimensionales corresponden a la mayor parte de los captadores de niebla que se han construido en varios lugares del mundo. Dentro de este tipo se encuentran dos subtipos de captadores: el estándar (SFC) y el grande (LFC).



**Figura 2.** Captador de Niebla Bidimensional

**Fuente:** (Cereceda et al., 2014)

### a) Captador de niebla estándar (SFC)

En 1994 fue propuesto por Schemenauer y Cereceda, esta estructura se encuentra formada por un marco con un espesor de 1 centímetro y que de preferencia debe ser fabricado en madera o metal anti corrosible, en el cual se coloca una malla Raschel con dimensiones de 1 metro por 1 metro (Figura 3). El marco armado debe ser colocado dos metros por encima del nivel del suelo. Sin embargo, para comparar diferentes áreas y establecer la captación de agua en zonas determinadas las dimensiones pueden ser estandarizadas (Carter et al., 2016).

Para recoger el agua que se capta, es necesario colocar una canaleta debajo del marco, la misma que puede ser de forma circular o cuadrada con dimensiones de: 1,04 metros de largo, 15 centímetros de alto y 10 centímetros de profundidad. Además, debe tener una ligera inclinación para facilitar que el agua captada se desplace y almacene mediante una manguera conectada entre la canaleta y un tanque que debe contener el volumen suficiente para evitar pérdidas (Carter et al., 2016).

El captador de niebla estándar (SFC) principalmente se utiliza en estudios de viabilidad. Esto con la finalidad de evaluar la cantidad de agua de niebla que se puede recolectar en los sitios de interés (Batisha, 2015).



**Figura 3.** Captador de Niebla Estándar (SFC)

**Fuente:** (Cereceda et al., 2014)

### **b) Captador de niebla grande (LFC)**

Este tipo de captador se ha utilizado ampliamente para la recolección de niebla, el principio de operación es idéntico al del SFC. Sin embargo, tiene mayor área de captación, en la mayoría de los casos, la malla tiene 4 metros de alto y 10 metros de ancho (Figura 4). El borde inferior de la malla y la canaleta, se deben colocar lo más alto posible del suelo, normalmente se recomienda 2 metros de altura para aumentar la tasa de recolección. Para el LFC, la malla está sostenida por un marco hecho de cables, que se sujetan firmemente entre dos postes verticales (Batisha, 2015).



**Figura 4.** Captador de Niebla Grande (LFC)

**Fuente:** (Cereceda et al., 2014)

#### **2.5.2. CAPTADOR DE NIEBLA TRIDIMENSIONAL**

En búsqueda de optimizar la eficiencia de recolección de agua, estos dispositivos están diseñados, en teoría, para recolectar la niebla proveniente de cualquier dirección del viento. Por eso, estos se conforman de varios paneles con superficies de colección del agua de niebla ubicados en varias direcciones del viento (Cereceda et al., 2014).

Además, se ha justificado que su estructura podría mejorar la estabilidad del captador, buscando la manera de hacerlos más resistentes ante fuertes vientos. Sin embargo, todavía no hay información concluyente si es que esta razón es valedera.

Este tipo de captadores de niebla son menos frecuentes, y la gran parte de los que existen han sido implementados con fines investigativos en lugares con nieblas multidireccionales. Por esta razón, la información con respecto a la eficiencia real de estos diseños es escasa (Cereceda et al., 2014). Un ejemplo de este tipo de captadores es el caso del captador de niebla Macrodiamante (Figura 5).



**Figura 5.** Captador de niebla Macrodiamante - Carlos Espinosa

**Fuente:** (Cereceda et al., 2014).

## **2.6. PROYECTOS DE CAPTADORES DE NIEBLA EN EL ECUADOR**

En el país se han realizado algunos proyectos con respecto a este tema, por ejemplo, en el 2016 se instalaron captadores de niebla en el páramo del cerro Shaushi en Tungurahua, con el fin de obtener agua para riego para el cantón Quero (Ministerio del Ambiente y Agua, 2016). También se han realizado estudios y diseños de captadores de niebla desde la academia, algunos de los cuales se describen a continuación:

### **2.6.1. QUERO- TUNGURAHUA (2014)**

Guerrero (2014), en su trabajo de titulación realizó una evaluación de captadores de neblina como posible solución para abastecer de agua a la comunidad de Shaushi ubicada en el cantón Quero. Se analizaron los factores de: altitud de ubicación de los captadores de niebla y porcentaje de sombra de la malla. Se

utilizaron dos alturas para realizar la comparación: Altitud 1 (3767 msnm), Altitud 2 (3770 msnm) y dos porcentajes de sombra de la malla: Porcentaje 1 (50 %), Porcentaje 2 (35 %). Tomando en cuenta los siguientes tratamientos de los factores: Altitud 1- Porcentaje 1, Altitud 1- Porcentaje 2, Altitud 2- Porcentaje 2, Altitud 2- Porcentaje 1. Se implementaron en total 12 captadores de niebla, con 3 repeticiones por tratamiento (Figura 6). La investigación duró treinta días y los resultados indicaron que la mayor cantidad de neblina se capturó en el captador ubicado a 3770 msnm, mientras que con respecto al porcentaje del sarán no se obtuvieron diferencias estadísticas (Guerrero, 2014).



**Figura 6.** Captadores de Niebla instalados en Quero-Tungurahua

**Fuente:**(Guerrero, 2014)

### **2.6.2. GALTE- CHIMBORAZO (2016)**

En 2014 se instalaron siete captadores de niebla y posteriormente se reubicaron en el 2015 en la parte alta de la comunidad de Galte (Figura 7). El diseño estuvo basado en la demanda de agua de los cultivos y en la capacidad del tanque de almacenamiento (Hidalgo, 2016). En la investigación se calculó el potencial de producción de agua niebla en la zona, con el fin de cubrir las necesidades de agua para riego.



**Figura 7.** Sistema de Captadores de Niebla en Galte-Chimborazo

Fuente:(Hidalgo, 2016)

### **2.5.3 ISLA SAN CRISTÓBAL-GALÁPAGOS (2018)**

Echeverría (2018), en su proyecto realizado en San Cristóbal, una de las islas ubicada en las Galápagos, determina el potencial de captura de niebla para uso doméstico rural y riego durante la época seca del año. Analizó una red cilíndrica para coleccionar neblina (CFN) presente en la Isla que tiene 35% de coeficiente de sombra, el cual corresponde a la cantidad de luz que atraviesa la malla conforme el tamaño de sus orificios, teniendo que el coeficiente o porcentaje de sombra es inversamente proporcional al tamaño de los orificios, es decir que, si el coeficiente de sombra es menor, los orificios son más grandes y viceversa. Además, investigó dos captadores de niebla estándar (SFC), utilizando mallas Raschel con coeficiente de sombra de 50% y 35% (Figura 8). Los resultados indicaron que después de 48 días de investigación la cantidad de niebla capturada fue de 165 mm y 3.4 mm/día para CFN-35%, 352 mm y 7.9 mm/día para el SFC-50% y 284 mm y 5.9 mm/día para SFC-35% (Echeverría, 2018).



**Figura 8.** Captadores de Niebla instalados en la Isla San Cristóbal

**Fuente:** (Echeverría, 2018)

### 2.6.3. ILALÓ- PICHINCHA (2020)

Gómez & Quinteros (2020), diseñaron e implementaron tres captadores de niebla (3D) de diferentes modelos variando la geometría: circular, rectangular y piramidal en el cerro Ilaló (Figura 9). Además, con el fin de establecer el potencial y el volumen recogido por los captadores, desarrollaron un ecosistema informático para conocer la meteorología del lugar y estimar el comportamiento de las variables. Según los investigadores, esto permitió generar modelos para poder clasificar y predecir la influencia de las variables climáticas.

De la investigación se concluyó que la cima del Ilaló y sus laderas fueron el sitio más adecuado para establecer los captadores de niebla. Los resultados mostraron que el diseño rectangular tuvo el mejor resultado con un valor promedio de 4.57 L /m<sup>2</sup>/día y que el modelo de aprendizaje automático obtuvo un 74% de explicación del comportamiento del clima (Gómez & Quinteros, 2020).



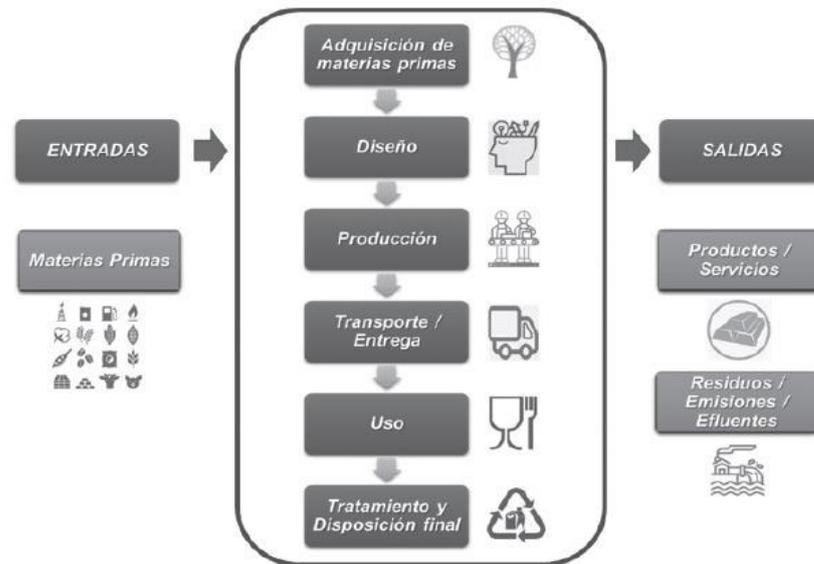
**Figura 9.** Modelo Captador de Niebla Piramidal instalado

**Fuente:** (Gómez & Quinteros, 2020)

## **2.7.CICLO DE VIDA**

### **2.7.1. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)**

La ISO 14040: 2006, menciona que el análisis de ciclo de vida es una metodología para recopilar y determinar las entradas, salidas y evaluar los posibles impactos ambientales provenientes de un producto, mediante el análisis de cada una de las etapas de su ciclo de vida. En la figura 10 se resume lo que conlleva el análisis del ciclo de vida. El cual se define como un método cuya finalidad es establecer y cuantificar el uso de recursos y la salida de emisiones al ambiente en cada etapa de un producto, desde la fase inicial con la obtención de materia prima, pasando por el proceso de producción, uso y terminando con la disposición final, denominado de la cuna a la tumba (cradle to grave).

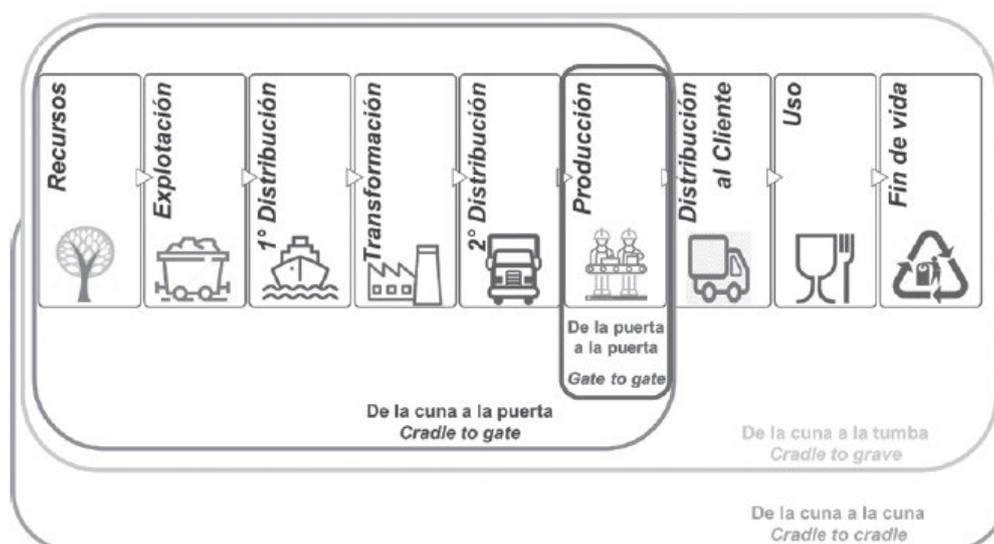


**Figura 10.** Metodología para el Análisis del Ciclo de Vida

Fuente: (Gutiérrez & Benavente, 2021)

### 2.7.2. LÍMITES DEL CICLO DE VIDA

Conforme a este análisis, la norma ISO 14040: 2006 menciona que puede aplicarse a un proceso, actividad o servicio tomando en cuenta las etapas del respectivo ciclo de vida. El análisis del ciclo de vida de un producto puede desarrollarse de diferentes maneras como se muestra en la figura 11. Esto va a depender de la información disponible, los objetivos y el alcance planteados.



**Figura 11.** Límites del sistema en un Análisis del Ciclo de Vida

Fuente: (Gutiérrez & Benavente, 2021)

A continuación, se describen los límites de un sistema en un análisis del ciclo de vida:

- **De la cuna a la puerta (cradle to gate):** se considera desde la obtención de la materia prima y la energía empleadas para la fabricación del producto, hasta que está listo para ingresar al mercado (Gutiérrez & Benavente, 2021).
- **De la puerta a la puerta (gate to gate):** solo se toman en cuenta las entradas y salidas que corresponden al proceso productivo (Gutiérrez & Benavente, 2021).
- **De la cuna a la tumba (cradle to grave):** se analizan las entradas y salidas de los procedimientos de todo el ciclo de vida, desde la extracción de materia prima, su transformación, el uso del producto y por último su disposición final (Gutiérrez & Benavente, 2021).
- **De la cuna a la cuna (cradle to cradle):** es una perspectiva distinta a la tradicional, en esta se consideran las salidas de la etapa de “Fin de Vida” como materia prima al mismo sistema o a uno diferente para elaborar un producto nuevo y que de esta manera el proceso sea más eficiente (Gutiérrez & Benavente, 2021).

Es preciso mencionar que para la presente investigación se ha realizado el análisis del ciclo de vida de los prototipos considerando el límite de “puerta a puerta”. Esto debido a que solamente el proceso de producción de los mismos ha sido considerado para llevar a cabo el estudio.

### **2.7.3. FASES DE UN ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA**

De acuerdo con la norma ISO 14040: 2006, la metodología para el Análisis del Ciclo de Vida se comprende principalmente de cuatro fases:

#### **2.7.3.1. Fase de Definición del Objetivo y el Alcance**

En esta fase se establecen las razones para realizar el estudio, y el alcance tomando en cuenta los límites del sistema, la unidad funcional y el nivel de detalle dependiendo del objetivo que se pretende alcanzar (ISO 14040, 2006).

### 2.7.3.2. Fase de Análisis del Inventario del Ciclo de Vida

Es la fase en la cual se reúnen los datos de entradas y salidas de las respectivas etapa del ciclo de vida de un producto (ISO 14040, 2006). Esto con el fin de cuantificar la entrada de recursos como energía, materia prima, productos u otros y la salida de emisiones líquidas, gaseosas y residuos que son posibles causantes de efectos ambientales (Arena, 2017). Principalmente consiste en aplicar un balance de masa y de energía del sistema.

### 2.7.3.3. Fase de Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

Esta fase consiste en tomar los datos del inventario de entradas y salidas para traspasarlos a indicadores de posibles impactos ambientales y determinar qué tan significativos son los daños ambientales potenciales de un proceso productivo en cada etapa de su ciclo de vida (ISO 14040, 2006). Se separan los datos de inventario con cada tipo de impacto ambiental y mediante los indicadores de cada tipo se establecen y analizan esos impactos (Arena, 2017).

Según la ISO 14040 (2006), para esta fase se deben desarrollar obligatoriamente los siguientes puntos:

- a) **Definición de categorías.** – se seleccionan las categorías de impacto que se utilizarán en la investigación.
- b) **Clasificación.** – se toman los resultados provenientes del inventario y se separan dependiendo de las categorías de impacto determinadas en el punto anterior.
- c) **Caracterización.** – se utilizan los resultados de los indicadores de categorías para hacer el cálculo mediante la multiplicación de lo obtenido en el punto anterior por un factor que indique la contribución a un determinado impacto ambiental.

### 2.7.3.4. Fase de Interpretación del Ciclo de Vida

En esta fase se interpretan los resultados del inventario del ciclo de vida y de la evaluación del impacto ambiental. Esto se lo hace de acuerdo con el objetivo y alcance establecido inicialmente (ISO, 2006).

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

En este capítulo se describe la metodología que se va a utilizar para el desarrollo de la investigación. Se inicia con la descripción del área de estudio con una breve reseña acerca de Catzuqui de Moncayo, seguido por la caracterización meteorológica del lugar debido a que la presencia de determinadas variables influye en la formación y en la recolección de niebla. Y por último se detallan las actividades para la determinación del lugar de estudio.

Por otra parte, para la necesidad de riego se establece el procedimiento a seguir para determinar el requerimiento mensual de agua y la cantidad de agua para satisfacer la demanda de un determinado cultivo. En este capítulo se detalla la metodología escogida que ha sido obtenida y descrita en bibliografía.

De igual manera, para los captadores de niebla se empieza con el establecimiento de los diseños para los prototipos que serán instalados. Se procede a describir los pasos para evaluar el funcionamiento y cantidad de agua de niebla capturada por los diseños. Adicionalmente, se establece el proceso para determinar el número de captadores requeridos para satisfacer la demanda de agua para riego. Finalmente, mediante el uso de indicadores financieros se realiza el análisis económico.

Por último, con respecto al análisis del ciclo de vida se define el procedimiento a seguir mediante una metodología ya descrita en bibliografía. Lo que se propone es evaluar los impactos provenientes del proceso de construcción del prototipo.

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en el barrio Catzuqui de Moncayo ubicado en las faldas del Pichincha al noroccidente de Quito, en la parroquia Condado Alto. En la figura 12 se muestra una imagen donde se identifica el lugar de estudio.



**Figura 12.** Ubicación del lugar de estudio (Catzuqui de Moncayo)

**Fuente:** Google Maps

### 3.1.1. ANTECEDENTES E HISTORIA DE CATZUQUI DE MONCAYO

Catzuqui de Moncayo es una ex hacienda. En la época de la reforma agraria, como resultado de una lucha social, la tierra tuvo que ser dividida y repartida a los trabajadores según los años de servicio. (Junta de Regantes, comunicación personal, Julio 21, 2021). Es decir que, las personas recibieron cierta cantidad de tierra de acuerdo con el tiempo que trabajaron para el hacendado.

Es así como, en 1966 el terreno fue repartido a los 44 huasipungueros. Cada uno recibió una parte de tierra con dimensiones diferentes y el resto de la propiedad fue vendida por los dueños de la hacienda. Este terreno fue adquirido por un grupo de personas que deciden formar una cooperativa agropecuaria llamada “Freire Mena” (Junta de Regantes, comunicación personal, Julio 21, 2021). Es así como se conforma el barrio, por una parte, la cooperativa Freire Mena y por otra los huasipungueros que deciden que el barrio se va a llamar Catzuqui de Moncayo. El

nombre Catzuqui proviene de los catzos o escarabajos (*platycoelia lutescens*), que en cierta época del años son muy comunes y tradicionalmente son consumidos por la comunidad junto con tostado, por otra parte, el nombre Moncayo corresponde al apellido del dueño de la hacienda (Junta de Regantes, comunicación personal, Julio 21, 2021).

El agua de riego con la que cuentan proviene de los deshielos del Pichincha, específicamente del río Pichán. En la actualidad, la junta de regantes está conformada por la cooperativa “Freire Mena” una asociación agropecuaria y Catzuqui de Moncayo. Y tienen la concesión de un caudal de alrededor de 5.5 l/s para el uso de agua de riego (Junta de Regantes, comunicación personal, Julio 21, 2021). Catzuqui de Moncayo es una zona con alto potencial agrícola. Sin embargo, el agua para riego no llega hasta las zonas más alejadas y solamente está disponible para la parte baja del barrio (Junta de Regantes, comunicación personal, Julio 21, 2021). Razón por la cual no se logra cubrir la totalidad del área cultivable del sector.

### **3.1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

En el lugar de estudio no hay una estación meteorológica cercana, razón por la cual para analizar las características meteorológicas de: humedad relativa, punto de rocío, velocidad media y precipitación, se utilizaron los datos mensuales multianuales registrados en los anuarios meteorológicos de la estación Izobamba del período de 1990 hasta 2013. Esta estación fue escogida debido a que se encuentra ubicada a una elevación similar a la del caso de estudio. La información de la estación es descrita en la tabla 2.

Se procedieron a analizar estadísticamente los datos usando la herramienta de Excel para obtener el promedio mensual multianual por temporadas. Se consideraron dos temporadas en el año, la temporada seca con los meses desde mayo hasta septiembre y la temporada húmeda desde octubre hasta abril.

**Tabla 2.***Estación Meteorológica Izobamba*

CÓDIGO	NOMBRE	ALTURA	TIPO	PERÍODO
M0003	Izobamba	3058	Meteorológica	1990-2013

Fuente: (INAMHI, 2021)

**3.1.2.1. Temperatura (°C)**

En cuanto a la temperatura, debido a la falta de información en la zona de estudio, se procede a realizar la estimación de los valores de temperatura mensual en Catzuqui de Moncayo utilizando los datos registrados en los anuarios meteorológicos de los años 1990 a 2013 publicados por el INHAMI de las estaciones meteorológicas de La Tola (M0002) e Izobamba (M0003). La información de las estaciones utilizadas se encuentra en la tabla 3.

**Tabla 3.***Estaciones meteorológica La Tola e Izobamba*

CÓDIGO	NOMBRE	ALTURA	TIPO	PERÍODO
M0003	La Tola	2480	Meteorológica	1990-2013
M0003	Izobamba	3058	Meteorológica	1990-2013

Fuente: (INAMHI, 2021)

Estas estaciones fueron escogidas debido a la diferencia de altura entre ambas, la cuál es necesaria para determinar el gradiente térmico vertical, el cual se basa en la variación de temperatura respecto a la diferencia en elevación entre dos puntos. Para determinar el gradiente altitudinal, se utiliza la ecuación 1:

$$GT = \frac{\Delta T}{\Delta h} \quad (1)$$

*GT: gradiente vertical (°C/m)**ΔT: diferencia de temperatura entre dos puntos (°C)**Δh: diferencia en elevación entre los dos puntos (m)*

Los cálculos estadísticos para determinar la temperatura promedio mensual multianual se desarrollaron utilizando la herramienta Excel. Se estableció la diferencia entre los valores de temperatura mensual multianual de las estaciones Izobamba y La Tola para determinar el  $\Delta T$ . El mismo proceso se hizo con los valores de elevación para encontrar la diferencia entre ambos puntos, con esta información y utilizando la ecuación (1) se determinó el gradiente altitudinal. Finalmente, con estos valores se obtuvo el promedio mensual multianual de temperatura para las temporadas secas y húmedas.

### **3.1.3. DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ESTUDIO**

Para determinar la ubicación geográfica y la altura del sitio de estudio se utilizó un GPS portátil marca Garmin eTrex Legend H ®. Con el cual se obtuvieron las siguientes coordenadas geográficas *WGS 84*: Zona 17 S, 773771 m E; 9991983 m N y una elevación de 3284 msnm. Adicionalmente, para el desarrollo del proyecto se realizaron actividades que se describen a continuación:

#### **a) Reconocimiento del lugar**

Para identificar los problemas y conocer la necesidad de agua de riego que tienen, se realizó una reunión con la directiva del barrio y con los dirigentes de la junta de regantes. Posteriormente, se realizó una visita de campo para establecer el lugar de estudio para evaluar la factibilidad de dos captadores de niebla y determinar si es posible usar el agua capturada para riego. Esto se lo realizó, mediante la información proporcionada por los dirigentes, quienes conocen los lugares donde la niebla está presente y es constante. En el Anexo 1 se presenta la visita a campo para el reconocimiento del lugar.

#### **b) Búsqueda de información**

Se revisó información bibliográfica referente al tema de estudio para conocer lo que se ha investigado en relación con la captura de agua de niebla alrededor del mundo y mediante el análisis de esta información establecer la metodología a usar, los diseños a construirse e identificar los principales problemas que se genera en la aplicación de estos para evitarlos.

**c) Selección de la dirección para instalación de los captadores de niebla**

Mediante información obtenida de los habitantes sobre la incidencia y dirección de la presencia de niebla se estableció colocar el diseño bidimensional de manera perpendicular hacia el sentido Norte. De igual manera, se ubicó una de las ocho pantallas del diseño tridimensional hacia la misma dirección y el resto hacia el resto de las direcciones de los puntos cardinales.

### **3.2.NECESIDAD DE RIEGO**

La cantidad de agua requerida para riego se determina siguiendo la metodología establecida por la FAO (2006). Esta se determina mediante el uso de los datos meteorológicos, como la temperatura mensual, humedad relativa, velocidad media del viento y precipitación. El análisis de estas variables fue descrito anteriormente en la sección de caracterización metodológica.

#### **3.2.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET<sub>c</sub>)**

De acuerdo con lo señalado por la FAO (2006), la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando la evapotranspiración del cultivo de referencia con el coeficiente del cultivo como se muestra en la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o \times kc \quad (2)$$

*ET<sub>c</sub>* : evapotranspiración del cultivo en (mm/d)

*ET<sub>o</sub>* : evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d)

*kc* : coeficiente del cultivo varía en función de la fase del cultivo

##### **3.2.1.1. Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET<sub>o</sub>)**

El cultivo de referencia se define como un cultivo hipotético. Para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia se usa la ecuación de la FAO Penman-Monteith descrita a continuación:

$$ET_o = kp \times Ea \quad (3)$$

$ET_o$ : evapotranspiración de referencia en (mm/d)

$k_p$ : coeficiente del tanque evaporímetro

$E_a$ : evaporación del tanque evaporímetro en (mm/d)

El valor de  $k_p$  se obtiene mediante la relación del valor promedio de velocidad media mensual del viento en m/s y el promedio mensual de humedad relativa (%) del lugar estudio. A continuación, se muestran los valores de  $k_p$  en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Valores de coeficientes del tanque evaporímetro ( $k_p$ ) para Clase A.*

Tanque Clase A		Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada		
Velocidad del Viento (m/s)	Distancia del Cultivo a Barlovento (m)	HR (%)		
		Baja < 40	Media 40 -70	Alta > 70
Baja > 2	1	0.55	0.65	0.75
	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.7	0.8	0.85
	1000	0.75	0.85	0.85
Moderada 2 - 5	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.6	0.7	0.75
	100	0.65	0.75	0.8
	1000	0.7	0.8	0.8
Alta 5 - 8	1	0.45	0.5	0.6
	10	0.55	0.6	0.65
	100	0.6	0.65	0.7
	1000	0.65	0.7	0.75
Muy Alta > 8	1	0.4	0.45	0.5
	10	0.45	0.55	0.6
	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.55	0.6	0.65

Fuente: (FAO, 2006)

### 3.2.1.2. Evaporación del Tanque Evaporímetro ( $E_a$ )

Para este punto se utilizan las ecuaciones expresadas en la investigación de los autores Vaca-Jimenez et al., (2019). Para obtener el valor de evaporación del tanque evaporímetro se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ea = (e_s - e_a)0.88 * (0.42 + 0.0029 v_p) \quad (4)$$

$Ea$ : evaporación del tanque evaporímetro en (mm/d)

$e_s$  : presión de vapor de saturación (mbar)

$e_a$  : presión de vapor en condiciones ambientales (mbar)

$v_p$  : velocidad del viento (km/d)

En el caso de no contar con información de presión de vapor de saturación se procede a estimar estos valores mediante los datos de temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ), y temperatura de rocío ( $^{\circ}\text{C}$ ). Se procede a utiliza la siguiente ecuación:

$$e_s - e_a = 33.86 [(0.00738 T_a + 0.8072) 8 - (0.00738 T_d + 0.8072) 8] \quad (5)$$

$e_s - e_a$  : diferencia de presión de vapor de saturación

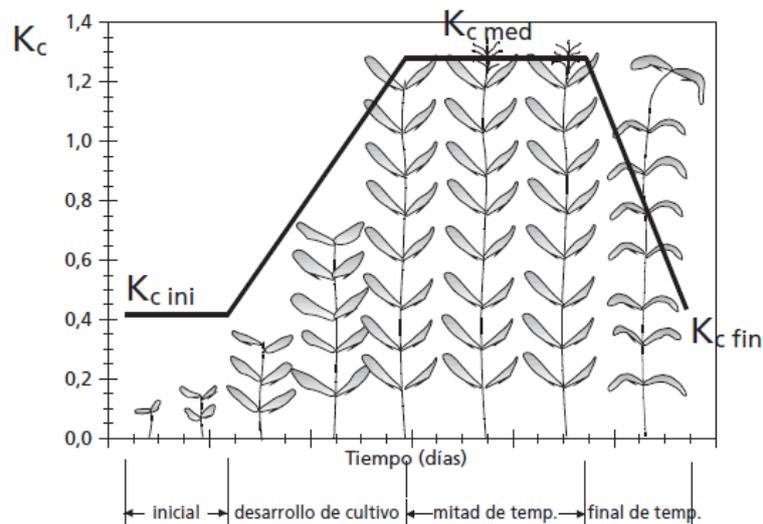
$T_a$  : temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_d$  : temperatura de punto de rocío ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2.1.3. Coeficiente de Cultivo ( $k_c$ )

El coeficiente de cultivo  $k_c$  se determina siguiendo los siguientes pasos:

- a. Primero, se identifican las etapas de crecimiento del cultivo seleccionado, identificando el tiempo de duración de cada una.
- b. Se procede a escoger los valores de  $k_c$  para la etapa inicial, media y final del cultivo propuestos en la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (FAO, 2006).
- c. Con esta información se construye una curva del coeficiente de cultivo como se muestra en la figura 13, con el fin de poder identificar el valor de  $k_c$  en cualquier etapa del crecimiento de la plantación.



**Figura 13.** Curva generalizada del coeficiente de cultivo ( $k_c$ )

**Fuente:** (FAO, 2006).

Utilizando el resultado de la gráfica para el cultivo escogido se obtiene el coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) diario. Con el cual se procede a determinar el valor evapotranspiración diario del cultivo ( $ET_c$ ) utilizando la ecuación (2).

### 3.2.2. REQUERIMIENTO MENSUAL DE AGUA

Para determinar la necesidad de agua mensual que tiene el cultivo se utilizan los valores obtenidos en el punto anterior de evapotranspiración diaria. Estos valores se suman mensualmente y sus unidades son convertidas de mm/d a  $m^3/ha$  mediante la siguiente ecuación:

$$CWR = 10 \times \sum ET_c \quad (6)$$

$CWR$  : necesidad mensual de agua ( $m^3/ha$  mes)

$ET_c$  : evapotranspiración del cultivo (mm/d)

El factor 10 convierte las unidades de mm a  $m^3/ha$

### 3.2.3. DÉFICIT DE AGUA PARA EL CULTIVO

Esto se consigue mediante la comparación de la necesidad de riego mensual ( $CWR$ ) con los promedios mensuales multianuales de precipitación. Dependiendo

del resultado que se obtenga de esta comparación se establece si el cultivo requiere o no agua suplementaria. La necesidad se define de la siguiente manera:

En el caso de que,  $CWR \left( m^3/ha \right) \leq Pr \left( m^3/ha \right)$ , no se requiere riego adicional porque la precipitación cubre toda la necesidad de agua que tiene el cultivo.

Por el contrario, si,  $CWR \left( m^3/ha \right) \geq Pr \left( m^3/ha \right)$ , se requiere riego adicional porque la precipitación no alcanza a satisfacer la necesidad de agua que tiene el cultivo.

### 3.2.4. VOLUMEN DE RIEGO PARA SATISFACER DÉFICIT DE AGUA

La cantidad de agua necesaria para satisfacer el déficit que tiene un cultivo se determina mediante la diferencia entre la necesidad de riego mensual (CWR) y los promedios mensuales de precipitación en el lugar. Para este caso se utilizan los promedios mensuales de precipitación obtenidos de los datos registrados en la estación Izobamba. Esto se establece debido a que la estación tiene una elevación similar a la del punto de estudio y además porque se cuenta con información de un período considerable de tiempo, desde 1990 a 2013. También se requieren los valores de evapotranspiración del cultivo seleccionado (CWR). La necesidad de riego se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Necesidad de riego} = CRW - Pr \quad (7)$$

*Necesidad de riego*: en ( $m^3/ha$ )

*CRW*: requerimiento mensual de agua ( $m^3/ha$ )

*Pr*: precipitación ( $m^3/ha$ )

## 3.3. CAPTADORES DE NIEBLA

### 3.3.1. DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS DE CAPTADORES DE NIEBLA

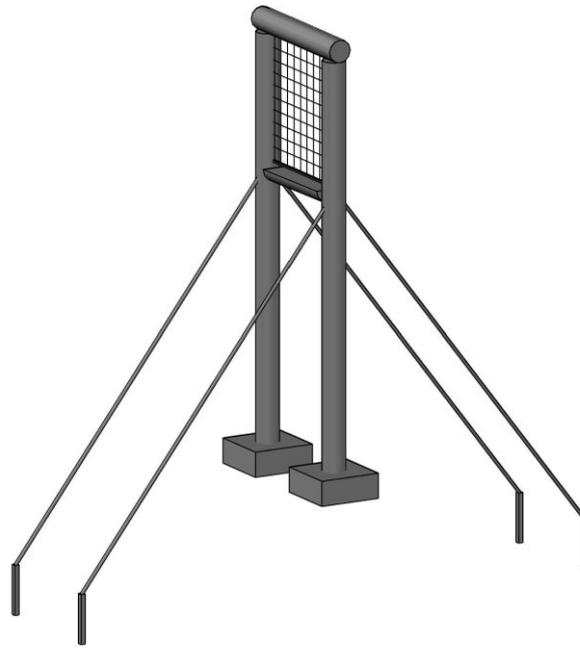
Para el estudio de los captadores se decidió realizar un análisis comparativo de prototipos. En este caso, se construyeron dos tipos de captadores de niebla (prototipos): un diseño bidimensional y uno tridimensional (octogonal), que están

compuestos por la superficie de captación, recolección, distribución, un dispositivo de almacenamiento y medición. Los prototipos fueron comparados para determinar cuál es el diseño con mayor eficiencia desde un punto de vista económico y técnico.

#### **3.3.1.1. Diseño Bidimensional**

El diseño está basado en el captador de niebla estándar (SFC por sus siglas en inglés) elaborado por Schemenauer & Cereceda. El prototipo cuenta con un área de captación de 1 m<sup>2</sup>. La estructura de captación fue construida con caña guadúa, se utilizaron 2 postes de 3.5 m cada uno, los cuales fueron enterrados 0.6 m en el suelo. Adicionalmente, se usó 1m de caña guadúa transversal en la parte superior y para la parte inferior se utilizó un pedazo de madera de 1m para completar el marco. La malla empleada es Raschel de polietileno con coeficiente de sombra del 50%, para sujetar y tensar la malla al marco se utilizaron bridas de plástico de 40 cm.

Para el sistema de recolección de agua se construyó una canaleta utilizando un tubo PVC de 1.10 m de largo y 76 mm de diámetro cortado longitudinalmente a la mitad y en los extremos se colocó una tapa de PVC con 76 mm de diámetro cortada por la mitad. Se usó alambre galvanizado para sujetar la canaleta al marco y colocarle con una ligera inclinación. Esto para facilitar la conducción del agua hacia el tanque de almacenamiento de 6 L de volumen mediante una manguera de 13 mm de diámetro. En la figura 14 se encuentra el diseño del bidimensional. Y en el Anexo 2 se presenta el plano del mismo.



**Figura 14.** Diseño captador de niebla bidimensional

**Fuente:** Propia

### 3.3.1.2. Diseño Tridimensional

El diseño propuesto se lo realizó con ocho pantallas ubicadas hacia las ocho direcciones principales de los puntos cardinales que son: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW. Cada pantalla tiene una superficie de captación de  $0.5 \text{ m}^2$  cubriendo un área total de  $4 \text{ m}^2$ . La estructura de captación fue elaborada con madera, se utilizó 1 poste de caña guadúa de 3.5 m de alto, el cual se enterró 0.6 m en el suelo. La malla empleada es Raschel de polietileno con coeficiente de sombra del 50%, para sujetar y tensar la malla al marco se utilizaron bridas de plástico de 40 cm.

Para el sistema de recolección de agua se construyeron ocho canaletas utilizando tubos PVC de 0.52 m de largo y 76 mm de diámetro cortado longitudinalmente a la mitad y en los extremos de cada uno se colocó una tapa de PVC con 76 mm de diámetro cortada por la mitad. Se utilizó alambre galvanizado para sujetar cada canaleta al marco de cada pantalla del prototipo y colocarle con una ligera inclinación. Esto para facilitar la conducción del agua hacia cada tanque de almacenamiento de 2 L de volumen mediante una manguera de 13 mm de diámetro. En la figura 15 se encuentra el diseño del tridimensional. Y en el Anexo 3 se presenta el respectivo plano.



**Figura 15.** Diseño captador de niebla bidimensional

**Fuente:** Propia

### 3.3.2. TOMA DE DATOS

#### 3.3.2.1. Protocolo De Toma De Datos

Para la toma de datos se estableció medir la cantidad de agua almacenada de 24 horas por cada captador de niebla que se medirá a nivel diario a las 17H15 por un período de cinco meses. Los valores se obtuvieron en base al trabajo de campo y la respectiva toma de datos mediante la Bitácora de Recolección de Datos, que incluye la siguiente información:

- *Fecha:* Colocar el día, mes y año de la medición.
- *Hora* Indicar la hora de medición.
- *Condición del clima:* Escoger si está soleado, parcialmente nublado, nublado, lluvioso o ventoso.
- *Diseño Bidimensional:* Anotar el valor de agua capturada por el prototipo en ml.
- *Diseño Tridimensional:* Apuntar los valores de agua recogida en ml. Esto se hace para cada pantalla ubicada en las ocho

direcciones de los puntos cardinales, para facilitar la medición se brindan valores del 1 al 8 a cada dirección siendo: 1-Norte, 2 Noreste, 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noroeste.

- *Observación:*

En esta sección se pueden mencionar las condiciones de los captadores, o algún comentario importante para tomar en cuenta.

En el Anexo 4 se presenta el formato de esta bitácora.

### 3.3.3. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS CAPTADORES

El agua total que se recolecta corresponde tanto a agua de niebla como a agua de lluvia, el valor de neto de agua de niebla se determina mediante la diferencia entre el volumen del agua total capturado y el volumen del agua de lluvia. Los datos diarios de precipitación fueron tomados de la estación Rumihurco (C02) proporcionados por la EPMAPS debido a que es la estación pluviométrica más cercana al lugar de estudio. La información de la estación se describe en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

*Estación Meteorológica Rumihurco*

CÓDIGO	NOMBRE	ALTURA	TIPO	PERÍODO
C02	Rumihurco	3563	Meteorológica	2021-2022

**Fuente:** (EPMAPS, 2022)

Para separar y determinar la cantidad neta de niebla se debe conocer el valor de precipitación que ha sido interceptada por los elementos de almacenamiento y medición de los captadores de niebla. Para el cálculo de la precipitación se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pr(L) = Pr \times A \text{ captación}$$

(8)

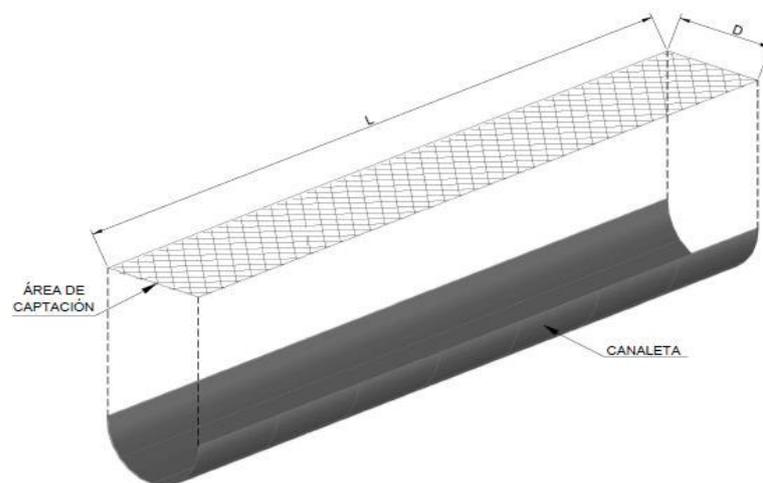
$Pr(L)$  : Precipitación en litros

$A_{captación}$ : área de captación ( $m^2$ )

$Pr$  : Precipitación (mm)

Es necesario que los valores de precipitación diaria estén expresados en litros, esto debido a que la cantidad de agua de niebla neta se estima mediante la diferencia entre el volumen total acumulado por los tanques de almacenamiento en litros menos la precipitación. Para lo cual se toma en cuenta que, 1 mm corresponde a 1 litro por  $m^2$ .

Los datos diarios de precipitación usados,  $Pr$ , son los registrados en la estación meteorológica Rumihurco en el período de toma de datos. El área de captación,  $A_{captación}$ , corresponde a la canaleta semicircular ubicada debajo de cada pantalla. En la figura 16, se presenta una representación del área de captación proyectada.



**Figura 16.** Área de captación proyectada de la canaleta

**Fuente:** Propia

Las dimensiones de la canaleta para el diseño bidimensional y tridimensional se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6.***Dimensiones de canaleta*

<b>CANALETA</b>			
	<b>Unidades</b>	<b>Bidimensional</b>	<b>Tridimensional</b>
<b>Longitud (L)</b>	m	1.1	0.52
<b>Diámetro (D)</b>	m	0.075	0.075

**Fuente:** Propia

Se utilizó la siguiente ecuación para conocer el área de captación:

$$A_{\text{captación}}(m^2) = A_{\text{canaleta}} \quad (9)$$

$A_{\text{captación}}(m^2)$ : Área de captación

$A_{\text{canaleta}}$ : área de la canaleta en  $m^2$

Posteriormente, el área de la canaleta semicircular se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$A_{\text{canaleta}} (m^2) = D \times L \quad (10)$$

$A_{\text{canaleta}}$ : área de la canaleta ( $m^2$ )

$D$ : diámetro de la canaleta (m)

$L$ : longitud de la canaleta (m)

Finalmente, con esta información se procede a obtener el valor de agua de niebla neta, restando la cantidad de agua acumulada diariamente menos el valor de precipitación diaria en litros. Para determinar el valor de agua niebla neto se usa la ecuación 11:

$$V_{\text{niebla}} = V_{\text{acumulado}} - Pr (L) \quad (11)$$

$V_{\text{niebla}}$  : volumen de agua de niebla (L)

$V_{\text{acumulado}}$  : volumen recogido por los captadores (L)

$Pr (L)$ : precipitación en litros

Una vez obtenida la cantidad de agua de niebla se procede a homogenizar el volumen captado por los prototipos durante el tiempo de toma de datos para poder determinar cuál fue el prototipo que capturó una mayor cantidad de agua de niebla. Para esto se dividió el volumen captado por el área de apertura de cada una de las caras expuestas a la neblina (L agua niebla/ m<sup>2</sup>).

Los datos obtenidos se analizan con la herramienta Excel para comparar la captación de agua de niebla recogida por cada prototipo. Se hace un análisis total acumulado, un mensual y uno específicamente para medir cuánta agua se recogió en cada pantalla del prototipo tridimensional.

### **3.3.4. CORRELACIÓN ENTRE EL AGUA DE NIEBLA CAPTURADO Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS**

#### **3.3.4.1. Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson (r)**

Para determinar la correlación que existe entre variables y la recolección de agua niebla se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson. El cual permite determinar el grado de relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas (Dagnino, 2014). Se procedieron a analizar estadísticamente los datos de las variables climáticas y la cantidad de agua recolectada mediante la herramienta de Excel para obtener la correlación entre cada una.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de correlación de Pearson (r) puede encontrarse entre -1 y +1. Siendo +1 cuando hay una relación fuerte entre las dos variables. También se puede presentar el resultado 0 cuando no hay ninguna relación. Finalmente, el valor de -1 cuando la relación es baja (Anderson et al., 2008).

#### **3.3.4.2. Prueba de Hipótesis**

La prueba de Hipótesis se emplea para determinar si una correlación es o no significativa. Para realizar esta prueba se utiliza una hipótesis nula ( $H_0$ ), la cual plantea que no existe correlación, y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) que indica que si

existe correlación lineal (Fallas, 2012). A partir de los resultados se establece si se rechaza o no la hipótesis.

Para el análisis de la prueba de hipótesis se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- El nivel de significancia se designa con la letra griega  $\alpha$ , y para este caso se establece utilizar un valor de 0.05 (5%).
- El número de muestra se determina con la letra  $n$  y corresponde a 5.

Otro dato que se debe conocer es el valor estadístico de prueba. El cual se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$t = r \times \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (12)$$

$t$  = valor estadístico de prueba

$r$  = correlación entre dos variables

$n$  = número de muestra

De igual manera, se necesita conocer el valor estadístico crítico ( $t_c$ ). Para esto se emplea la función INV.T.2C ( $\alpha$ ;grados de libertad) en la herramienta Excel. Finalmente, para la prueba se toman los valores del valor estadístico de prueba ( $t$ ) y el valor crítico ( $t_c$ ) y se comparan. Como conclusión se determina lo siguiente:

- Si,  $t > t_c \rightarrow$  Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que significa que existe una correlación entre las variables.
- Si,  $t < t_c \rightarrow$  Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), lo que significa que no existe una correlación entre las variables.

### 3.3.5. NÚMERO DE CAPTADORES PARA SATISFACER EL DÉFICIT DE AGUA

La estimación del número de captadores requeridos para satisfacer la demanda de agua del cultivo se va a realizar con base a los resultados de la necesidad de agua de riego. De igual manera, se van a utilizar los valores obtenidos de la cantidad de agua de niebla recogida por el captador con mayor eficiencia.

A partir de esto, para determinar la cantidad de captadores de niebla se divide la cantidad de agua que el cultivo necesita para su desarrollo (que no puede ser cubierta por la precipitación) para el volumen de agua de niebla recogida por el captador. A continuación, se muestra la ecuación 13 que se deberá utilizar para obtener el valor de captadores requeridos:

$$N^{\circ} \text{ Captadores} = \frac{\text{Necesidad de riego}}{\text{Agua de niebla}} \quad (13)$$

*N° Captadores*: número de captadores de niebla para cubrir demanda

*Necesidad de riego*: déficit de agua requerida por el cultivo (m<sup>3</sup>/ha)

*Agua de niebla*: agua de niebla capturada por el prototipo (m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>)

### 3.3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS CAPTADORES DE NIEBLA

El proceso de evaluación económico del sistema se realiza mediante el uso de indicadores financieros, para determinar la factibilidad de los captadores de niebla. Los indicadores empleados para la presente investigación son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Para lo cual, se realiza un flujo de caja basado en el precio de inversión inicial, el costo de operación, mantenimiento y los ingresos obtenidos que fueron considerados en función del ahorro por el pago de agua. Para el análisis se estima un tiempo de vida útil de los prototipos de 10 años.

#### 3.3.6.1. Inversión Inicial

Los costos de inversión inicial corresponden al presupuesto necesario para implementar el sistema. Para determinar el precio de inversión inicial se

consideraron los costos de los materiales empleados en la construcción del captador de niebla.

### **3.3.6.2. Costos De Operación Y Mantenimiento**

Para continuar con el desarrollo del flujo de caja se deben conocer los costos relacionados con la operación, mantenimiento. Cabe mencionar que para este caso no hay costo de operación debido a que el sistema funciona sin requerimiento de energía o mano de obra. Con respecto a los costos de mantenimiento se establece que los materiales de la malla y canaleta serán cambiados cada dos años para asegurar el adecuado funcionamiento.

### **3.3.6.3. Ingresos**

Mediante revisión bibliográfica se identificó que el costo de agua para riego en el país es bajo, con una tarifa para riego productivo menor a 5 l/s de 0.00007 \$/m<sup>3</sup> (Del Pozo, 2017). Debido a lo cual se decide hacer el análisis financiero utilizando el precio que se paga por agua proveniente de tanqueros.

Es así como, para la presente investigación los ingresos se consideran en función de la cantidad de agua capturada por el prototipo y se calculan mediante la multiplicación de este valor con el precio de agua por tanquero que corresponde a \$ 10 por metro cúbico de agua potable, este precio fue cotizado por medio de comunicación telefónica con algunos distribuidores de tanqueros quienes manifestaron que el precio varía dependiendo del lugar donde se va a hacer la descarga. Un inconveniente con respecto a esto es la dificultad para acceder al el punto de estudio, razón por la cual el precio es elevado.

### **3.3.6.4. Análisis Económico**

Con el flujo de caja se obtienen los indicadores económicos del VAN y TIR para evaluar la factibilidad del proyecto. Este paso se lo realizó mediante la herramienta de Excel, con la función VNA y TIR respectivamente. Para hacer el análisis se seleccionó una tasa de interés del 6.1 % que corresponde a la tasa pasiva referencial según lo establecido Banco Central del Ecuador (2022).

### 3.4. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL CAPTADOR DE NIEBLA

El análisis del ciclo de vida se lo realiza con base a la norma ISO 14040: 2006. En donde se define el ciclo de vida como las etapas secuenciales relacionadas con un producto, iniciando desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final.

#### 3.4.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE

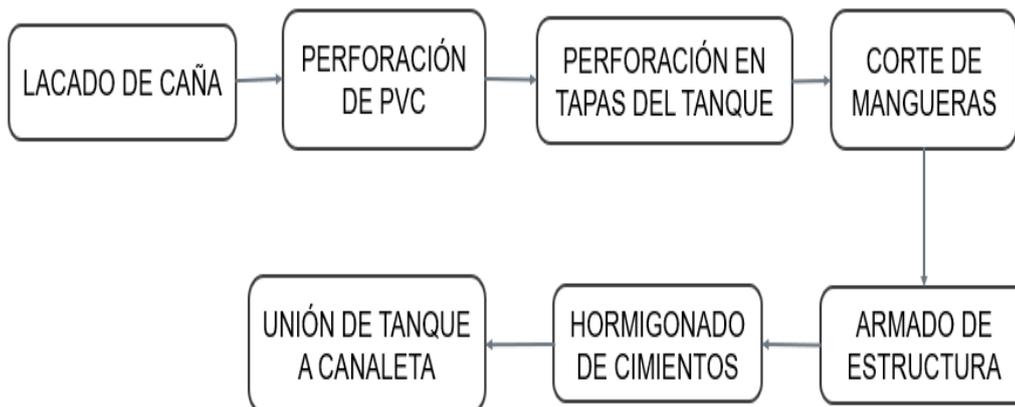
Para la presente investigación se establece lo siguiente:

- *Objetivo:* Se dispone a realizar un análisis del ciclo de vida de los prototipos de captadores de niebla propuestos para compararlos.
- *Límites del sistema:* Para este caso se considera el análisis de puerta a puerta (gate to gate), es decir únicamente la fase de producción, por esta razón, se utilizaron datos de materia prima y herramientas utilizadas en el proceso de construcción.
- *Unidad funcional:* Se toma como unidad funcional L agua niebla capturada/ m<sup>2</sup>.
- *Metodología de evaluación del impacto:* se consideran los indicadores de Huella de Carbono y Huella Hídrica.

#### 3.4.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

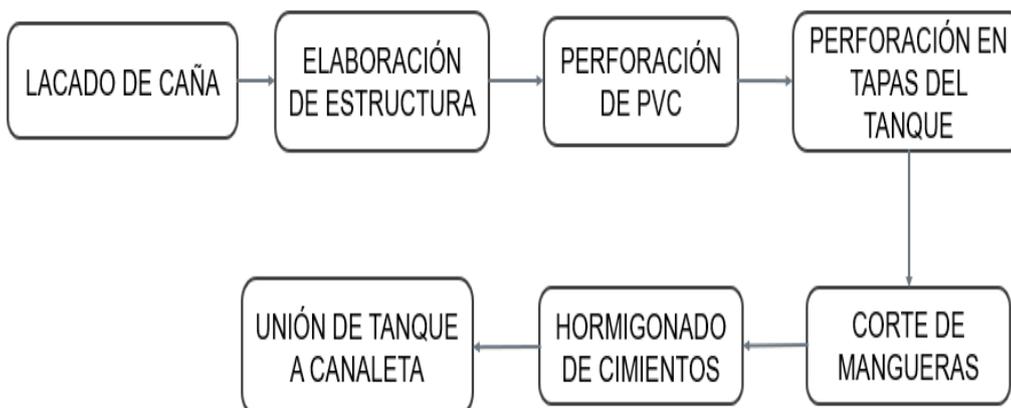
Para la presente investigación se procedió a realizar un diagrama de flujo de los pasos del proceso de construcción del captador de niebla bidimensional y del tridimensional. Esto con el fin de determinar las entradas y salidas de cada sistema en cada paso del proceso de construcción.

En las figuras 17 y 18 se muestran los diagramas de flujo para cada prototipo.



**Figura 17.** Diagrama de flujo de la construcción Diseño Bidimensional

**Fuente:** Propia



**Figura 18.** Diagrama de flujo de la construcción Diseño Tridimensional

**Fuente:** Propia

Para determinar los datos que entran a cada proceso se utiliza información de los equipos empleados en la construcción, así como la cantidad de agua requerida. La información de los recursos ocupados para el diseño bidimensional se detalla en la tabla 7. De igual manera en la tabla 8 se muestran los recursos ocupados para el diseño tridimensional.

**Tabla 7.***Recursos utilizados en proceso de construcción Bidimensional*

<b>BIDIMENSIONAL</b>	
<b>PROCESO</b>	<b>EQUIPO/ RECURSO</b>
Lacado de Caña	Compresor, Soplete
Perforación de PVC	Quemador de cocina
Perforación de Tapa	Quemador de cocina
Corte de Mangueras	Quemador de cocina
Armado de estructura	Taladro
Cimentación	Agua
Unión de tanque a canaleta	Quemador de cocina, agua

**Fuente:** Propia**Tabla 8.***Recursos utilizados en proceso de construcción Tridimensional*

<b>TRIDIMENSIONAL</b>	
<b>PROCESO</b>	<b>EQUIPO/ RECURSO</b>
Lacado de Caña	Compresor, Soplete
Elaboración de estructura	Amoladora
Perforación de PVC	Quemador de cocina
Perforación de Tapa	Quemador de cocina
Corte de Mangueras	Quemador de cocina
Cimentación	Agua
Unión de tanque a canaleta	Quemador de cocina, agua

**Fuente:** Propia

Para establecer la salida toma en cuenta la potencia y el tiempo de uso de cada equipo. Con estos datos se determinó el flujo de energía tomando en cuenta las fuentes de combustible y electricidad utilizados. En la tabla 9 se presenta la información de entradas y salidas durante el proceso de construcción del diseño bidimensional.

**Tabla 9.***Información de flujo de entradas y salidas del Diseño Bidimensional*

<b>BIDIMENSIONAL</b>				
<b>PROCESO</b>	<b>ENTRADA</b>			<b>SALIDA</b>
	<b>EQUIPO</b>	<b>Consumo</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Energía</b>
Lacado de Caña	Compresor Soplete	745.7 W	0.17	126.8 Wh
Perforación de PVC	Quemador de cocina	200 g GLP/h	0.25	50 g GLP
Perforación de Tapa	Quemador de cocina	200 g GLP/h	0.083	16.6 g GLP
Corte de Mangueras	Quemador de cocina	200 g GLP/h	0.083	16.6 g GLP
Armado estructura	Taladro	300	0.5	225.0 Wh
Unión tanque a canaleta	Quemador de cocina Agua	200 g GLP/h 1L	0.17	34 g GLP 1L
<b>PROCESO</b>	<b>RECURSO</b>	<b>Cantidad (L)</b>	-	-
Cimentación	Agua	12	-	-

**Fuente:** Propia

A continuación, en la tabla 10 se muestran los valores de entradas y salidas durante el proceso de construcción del diseño tridimensional.

**Tabla 10.***Información de flujo de entradas y salidas del Diseño Tridimensional*

<b>TRIDIMENSIONAL</b>				
<b>PROCESO</b>	<b>ENTRADA</b>			<b>SALIDA</b>
	<b>EQUIPO</b>	<b>Consumo</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Energía consumida</b>
Lacado de Caña	Compresor Soplete	745.7 W	0.083	61.9 Wh
Elaboración estructura	Amoladora	500 W	1	500 Wh
Perforación de PVC	Quemador de cocina	200 g GLP/h	1.33	266 g GLP
Perforación de Tapa	Quemador de cocina	200 g GLP/h	0.67	134 g GLP
Corte de Mangueras	Quemador de cocina	200 g GLP/h	0.67	134 g GLP
Unión tanque a canaleta	Quemador de cocina Agua	200 g GLP/h 1L	0.5	100 g GLP 1L
<b>PROCESO</b>	<b>RECURSO</b>	<b>Cantidad (L)</b>	-	-
Cimentación	Agua	8	-	-

**Fuente:** Propia

### 3.4.3. FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

En la presente investigación se establece lo siguiente:

- **Huella de Carbono**

Para el caso del indicador de efecto invernadero, se considera la contribución de dióxido de carbono emitido por la utilización de energía eléctrica y consumo de gas licuado de petróleo (GLP) mediante el uso de una hornilla de cocina.

Para convertir el valor de energía eléctrica consumida a cantidad de dióxido de carbono emitido en el proceso de construcción se utiliza el siguiente factor que se presenta a continuación, el cual fue obtenido del informe denominado “Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador” (Haro, 2020).

$$\text{Factor Ex Post EFgrid, CM, 2020} = 0.1917 \frac{t CO_2}{MWh}$$

En el caso del consumo de gas licuado de petróleo (GLP) empleado en la hornilla de la cocina se considera que el quemador tiene un consumo de 0.20 kg GLP/h y para determinar el valor de dióxido de carbono emitido por el proceso de construcción se usa la siguiente ecuación estequiométrica:



A partir de la ecuación estequiométrica se establece lo siguiente:

$$g C_4H_{10} \times \frac{1 \text{ mol } C_4H_{10}}{58 \text{ g } C_4H_{10}} \times \frac{8 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } C_4H_{10}} \times \frac{44 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} = 3.03 \text{ g } CO_2$$

Entonces, se determina que, por cada gramo de gas licuado de petróleo (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) consumido, se emiten 3.03 gramos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

- **Huella Hídrica**

Para el uso del agua durante el proceso de construcción el indicador seleccionado fue el de consumo de recursos no renovables. Es preciso mencionar que se consideró la cantidad en litros utilizada en cada prototipo.

#### **3.4.4. INTERPRETACIÓN DEL CICLO DE VIDA**

Para analizar el consumo de energía empleada en la construcción de los prototipos se considera como categoría de impacto el efecto invernadero referente a escala global. En cambio, para la cantidad de agua requerida para la construcción se selecciona el efecto de consumo de recursos no renovables que de igual manera se encuentra en escala global. Para la presente investigación se relaciona la cantidad en gramos de dióxido de carbono emitido por el proceso de construcción de los prototipos con la cantidad de litro de agua niebla capturado por m<sup>2</sup> de apertura de cada captador y se comparan ambos resultados. El mismo procedimiento se realiza para el análisis de los litros de agua utilizada con respecto a los litros de agua de niebla capturada m<sup>2</sup> de apertura de cada diseño y se procede a hacer la comparación.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

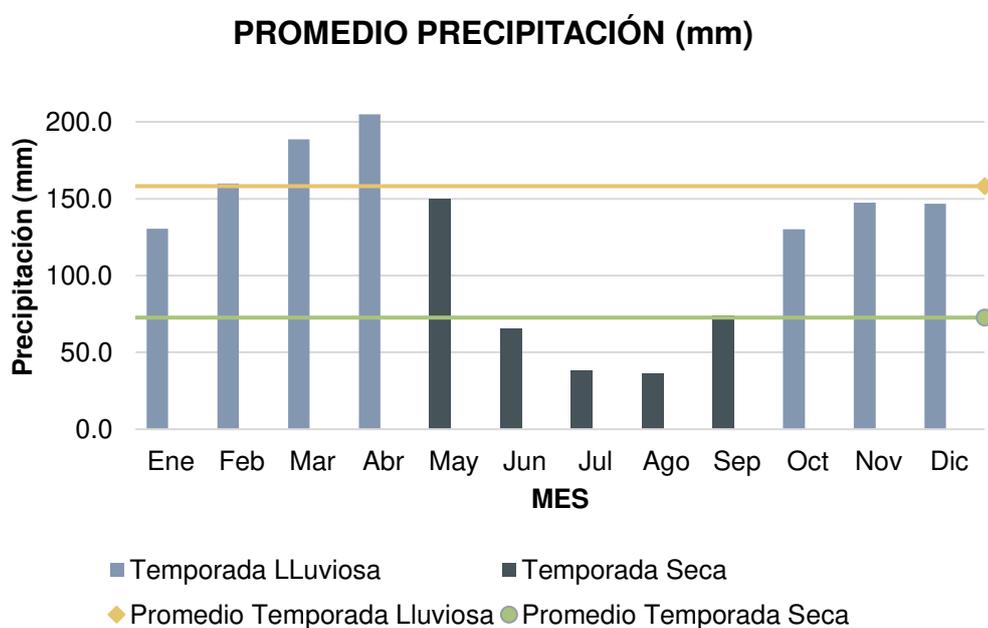
#### 4.1. ÁREA DE ESTUDIO

##### 4.1.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Para la caracterización climática se analizaron las variables y a continuación se presentan los resultados:

##### 4.1.1.1. Precipitación

En la figura 19, se muestra un gráfico con los promedios de precipitación mensual multianual analizados en el período de 1990 a 2013. El mes con mayor precipitación es abril con 205 mm y agosto corresponde al mes con menor precipitación con un valor de 36.4 mm. En cuanto a la temporada lluviosa comprendida desde octubre hasta abril, el promedio de precipitación es de 158.3 mm, mientras que para la temporada seca que va desde mayo hasta agosto, el promedio es de 72.7 mm. De acuerdo con esto se puede estimar que en la temporada lluviosa es posible que haya mayor presencia de niebla en relación con lo expuesto por Domínguez et al., (2019) con respecto a que en ocasiones la precipitación y la niebla se encuentran de manera simultánea.

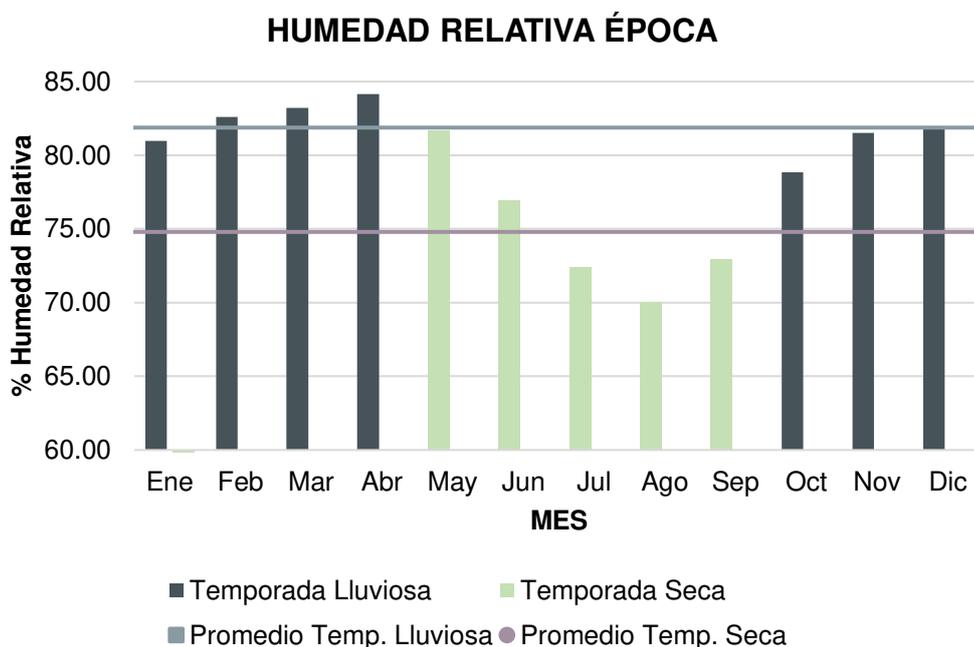


**Figura 19.** Promedio Mensual Multianual de Precipitación (1990-2013)

**Fuente:** Propia

#### 4.1.1.2. Humedad Relativa

En la figura 20, se muestra un gráfico de barras con los promedios de humedad relativa mensual analizados en el período de 1990 a 2013. Se puede observar que durante todo el año los valores de humedad relativa son altos. En todos los meses se tiene un porcentaje de humedad relativa superior a 70 %. Además, se determina que los meses con mayor humedad relativa son marzo y abril con 83.2 % y 84.2 % respectivamente. Mientras que julio y agosto corresponden a los meses con menor humedad relativa con valores de 72.4 %, 70 % y 72.9%. En cuanto a la temporada lluviosa tiene un promedio de 81.9 % de humedad relativa, mientras que para la temporada seca el promedio es de 74.8 %. A partir de lo señalado por Inzunza (2019) con respecto a la relación directa que hay entre la humedad relativa y la posibilidad de presencia de niebla. Y de acuerdo con los resultados en términos generales se puede estimar que el lugar de estudio tiene buen potencial para la captura de agua niebla, especialmente en los meses lluviosos.

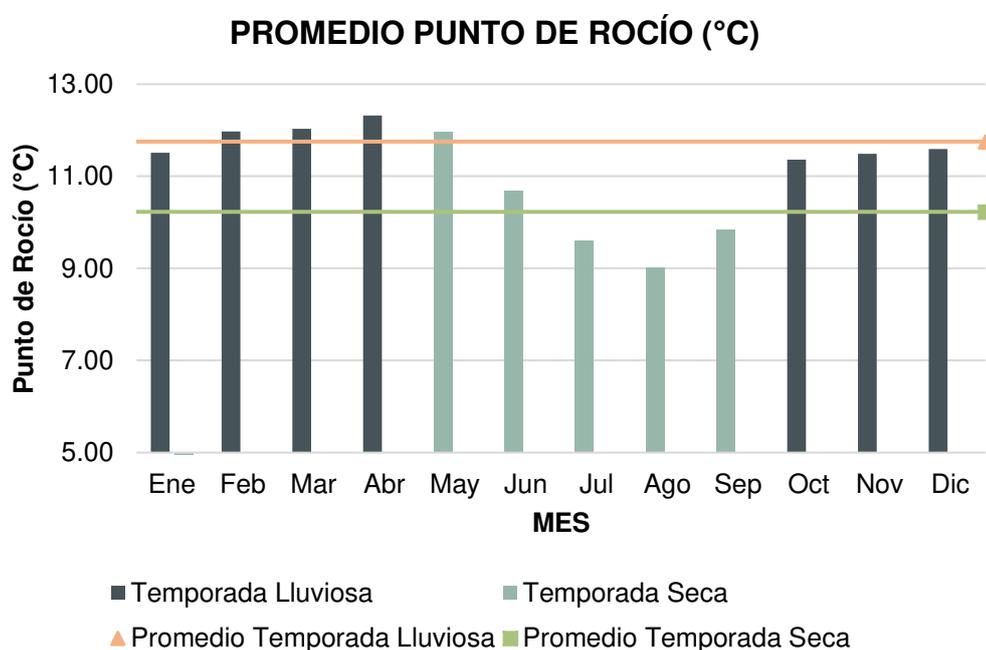


**Figura 20.** Promedio Mensual Multianual Humedad Relativa (1990 -2013)

**Fuente:** Propia

#### 4.1.1.3. Temperatura de Punto de Rocío

En la figura 21, se muestra un gráfico con los promedios de temperatura de punto de rocío mensual analizados en el período desde 1990 hasta 2013. Del análisis se puede identificar que los meses con mayor temperatura de punto de rocío son marzo con 12.03 °C y abril con 12.32 °C. Mientras que julio y agosto comprenden los meses con menor temperatura de punto de rocío con valores de 9.61 °C y 9.02 °C respectivamente. Con respecto a la temporada lluviosa la temperatura promedio para llegar al punto de rocío es de 11.8 °C, por otro lado, para la temporada seca el promedio es de 10.2 °C. Conforme a los resultados se puede estimar que en los meses secos la temperatura de punto de rocío baja y esto se puede relacionar con la disminución de otras variables como la precipitación y la humedad relativa.



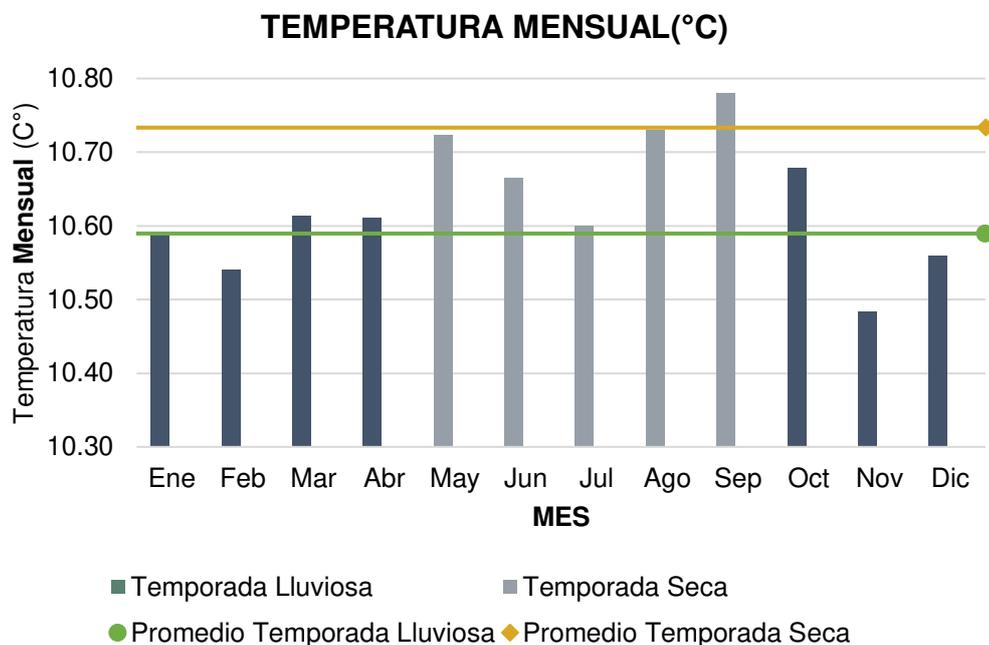
**Figura 21.** Promedio Mensual Multianual de Punto de Rocío (1990 -2013)

**Fuente:** Propia

#### 4.1.1.4. Temperatura

En la figura 22, se muestra un gráfico con los promedios de temperatura mensual multianual analizados en el período desde 1990 hasta 2013. En el gráfico se evidencia que el mes con mayor temperatura es septiembre con 10.8 °C. Mientras que noviembre tiene la menor temperatura con 10.5 °C. En cuanto a la temporada

lluviosa la temperatura promedio es igual a 10.6°C, por otro lado, para la temporada seca el promedio es de 10.7 °C.

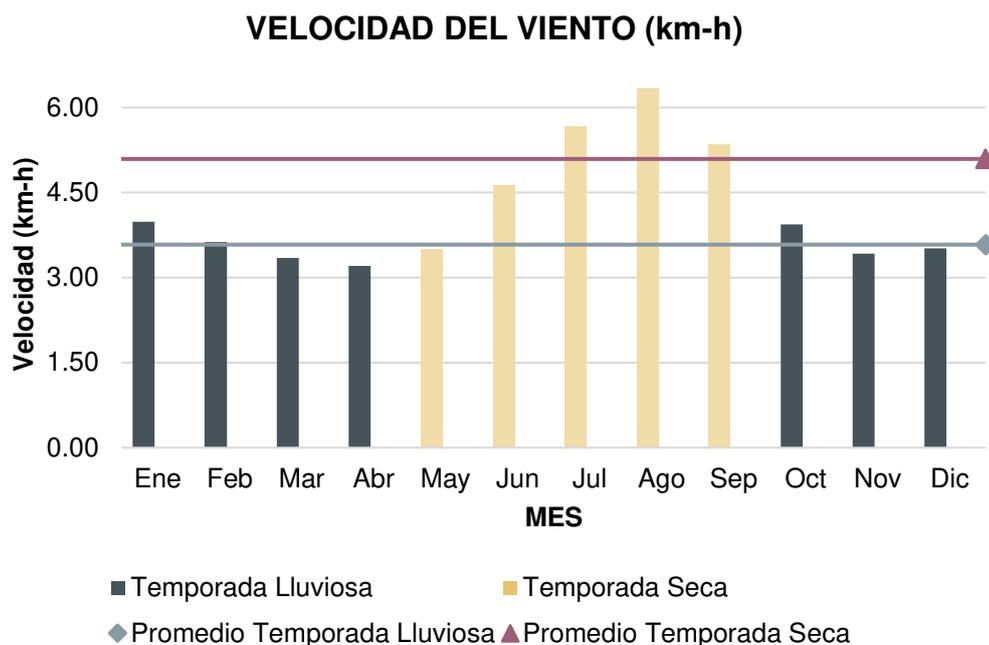


**Figura 22.** Promedio Mensual Multianual de Temperatura (1990-2013)

**Fuente:** Propia

#### 4.1.1.5. Velocidad Media Del Viento

En la figura 23 se muestra un gráfico con los promedios de velocidad media del viento mensual multianual analizados en el período desde 1990 hasta 2013. Del análisis se puede identificar que los meses con mayor velocidad de viento son agosto con 6.3 km/h y julio con 5.7 km/h. Mientras que abril y marzo comprenden los meses con menor velocidad de viento alcanzando valores de 3.2 km/h y 3.4 km/h respectivamente. Con respecto a la temporada lluviosa la velocidad media promedio es de 3.6 km/h, por otro lado, para la temporada seca el promedio es de 5.1 km/h. A partir de lo expuesto por Gómez & Quinteros (2020) y de acuerdo con los resultados se puede estimar que especialmente en la temporada seca, siempre y cuando haya presencia de niebla se va a tener mayor posibilidad de que más cantidad de gotas atraviesen la malla y se recolecte mayor agua.



**Figura 23.** Promedio Mensual Multianual de Velocidad Media

**Fuente:** Propia

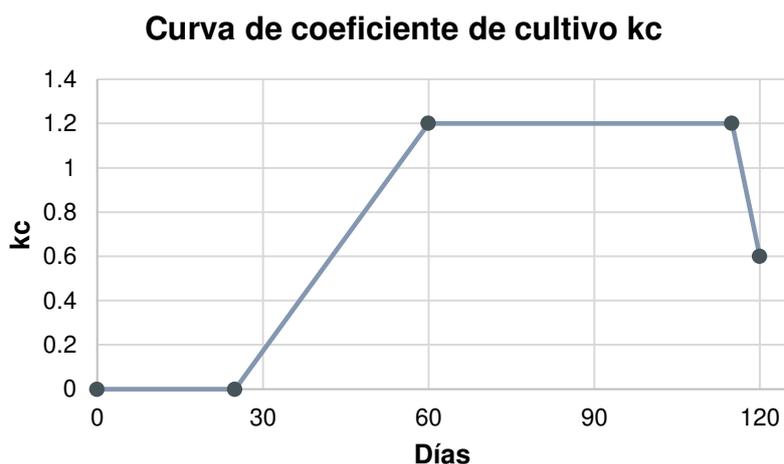
## 4.2. NECESIDAD DE RIEGO

### 4.2.1. REQUERIMIENTO MENSUAL DE AGUA PARA EL CULTIVO

El análisis se hace para el cultivo de maíz debido a que es uno de los cultivos predominantes en Catzuqui de Moncayo por las condiciones climáticas. La información acerca del período de siembra, ciclo del cultivo de maíz y tiempo de cosecha en choclo se obtiene de la Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana publicada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (2021).

Para el análisis se estableció el tiempo de cosecha de 120 días después de la siembra, por lo que se consideraron tres períodos de siembra al año, el primero de enero a abril, el segundo de mayo a agosto y el tercero de septiembre a diciembre. Con esta información se procedió a calcular la evapotranspiración del cultivo con el fin de determinar si existe necesidad de riego en algún período.

En la figura 24 se presenta la curva de coeficiente de cultivo  $k_c$  para el maíz, la cual se obtuvo siguiendo la metodología propuesta por la FAO descrita anteriormente.



**Figura 24.** Curva de coeficiente de cultivo kc para el maíz

Fuente: Propia

En la tabla 11, se presentan las cantidades de evapotranspiración mensual del cultivo de maíz en metro cúbico por hectárea, lo que corresponde al requerimiento de agua que tiene el cultivo.

**Tabla 11.**

*Requerimiento mensual de agua del cultivo de maíz*

MES	Primer Período Siembra-cosecha				Segundo Período Siembra-cosecha				Tercer Período Siembra-cosecha			
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>CRW (m<sup>3</sup>/ha)</b>	4	85	120	62	3	220	599	448	7	161	152	95

Fuente: Propia

Los meses con mayor cantidad de evapotranspiración del cultivo son julio y agosto con 599 m<sup>3</sup>/ha y 448 m<sup>3</sup>/ha respectivamente, los cuales pertenecen a la temporada seca. Esto se puede explicar debido a las condiciones meteorológicas típicas en esta temporada las cuales influyen a que mayor cantidad de agua se evapotranspire. Por ejemplo, se puede mencionar que existe un aumento con respecto a la radiación solar y por ende un aumento de la temperatura, así como también mayor cantidad de viento y menor humedad relativa.

#### 4.2.2. DÉFICIT DE AGUA PARA EL CULTIVO

Mediante la información del requerimiento de agua del cultivo y la precipitación mensual se procede a hacer la comparación entre los dos para determinar la necesidad de agua para riego. En la tabla 12 se presentan los valores de cada uno.

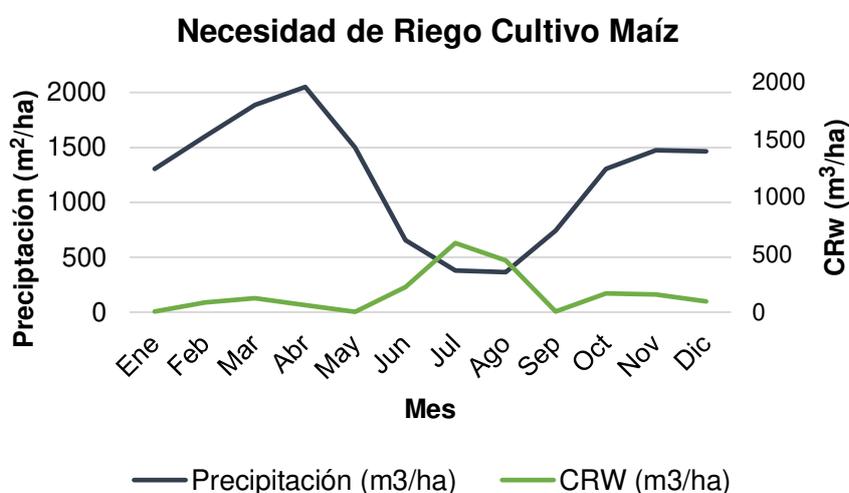
**Tabla 12.**

*Requerimiento de agua del cultivo de maíz y precipitación mensual*

Siembra	Primer Período de Siembra				Segundo Período de Siembra				Tercer Período de Siembra			
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
CRW (m <sup>3</sup> /ha)	4	85	120	62	3	220	599	448	7	161	152	95
Precipitación (m <sup>3</sup> /ha)	1304	1599	1886	2050	1499	654	380	364	741	1302	1473	1466

Fuente: Propia

Se puede apreciar que en dos meses de la temporada seca (julio y agosto) se presenta una menor cantidad de precipitación, y, por lo tanto, no se cubre la necesidad de agua que tiene el cultivo y siendo necesario un abastecimiento adicional que brinde el recurso hídrico requerido para el correcto desarrollo de la planta. En la figura 25 se muestra una curva de precipitación y evapotranspiración del maíz.



**Figura 25.** Curva de precipitación y evapotranspiración para el cultivo de maíz

Fuente: Propia

Se puede observar que en el período seco en los meses de julio y agosto la precipitación es menor que la evapotranspiración del cultivo. Esto genera un déficit de agua que no permite que los cultivos se desarrollen. Debido a esta necesidad de agua para riego se busca determinar la cantidad de captadores de niebla necesarios para satisfacer el requerimiento del cultivo. La estimación se realiza en base a los resultados obtenidos de la cantidad de agua recogida por el captador bidimensional y el déficit de agua para riego

### 4.3. CAPTADORES DE NIEBLA

#### 4.3.1. DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS DE CAPTADORES DE NIEBLA

##### 4.3.1.1. Dirección de los Captadores De Niebla

El diseño bidimensional fue instalado perpendicular a la dirección norte. De igual manera una de las pantallas del diseño tridimensional se ubicó hacia la misma dirección como se puede observar en la representación que se muestra en la figura 26.



**Figura 26.** Representación de la instalación de los captadores de niebla

**Fuente:** Google Maps

#### 4.3.1.2. Instalación de los Captadores de Niebla

A continuación, se muestra el resultado final de la implementación de los captadores en el área de estudio. En las figuras se incluyen los principales elementos de los que se compone el sistema, los cuales son:

- Superficie de captación (malla Raschel)
- Recolección (canaleta de PVC)
- Almacenamiento (tanque) y,
- Medición (probeta graduada).

En la figura 27 se puede observar el diseño bidimensional instalado con sus respectivos materiales.



**Figura 27.** Captador de niebla Diseño Bidimensional

**Fuente:** Propia

En la figura 28 se puede observar el Diseño Tridimensional instalado señalando los materiales que fueron utilizados



**Figura 28.** Captador de niebla Diseño Tridimensional

**Fuente:** Propia

En la figura 29, se muestran los captadores de niebla instalados en Catzuqui de Moncayo. Los cuales se colocaron uno a lado del otro con el fin de poder comparar el rendimiento y potencial de captura de cada uno.



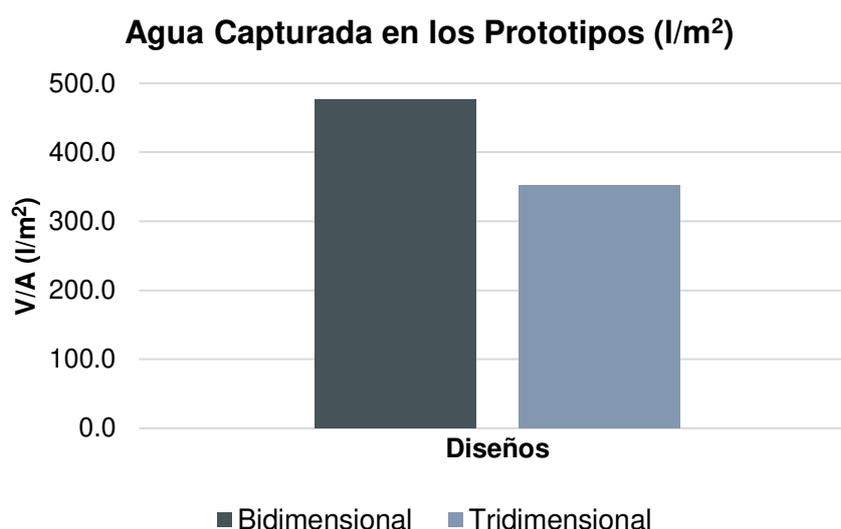
**Figura 29.** Captadores de niebla en Catzuqui de Moncayo

**Fuente:** Propia

### 4.3.2. DISPONIBILIDAD DE AGUA DE NIEBLA

#### 4.3.2.1. Cantidad de Agua de Niebla Capturada

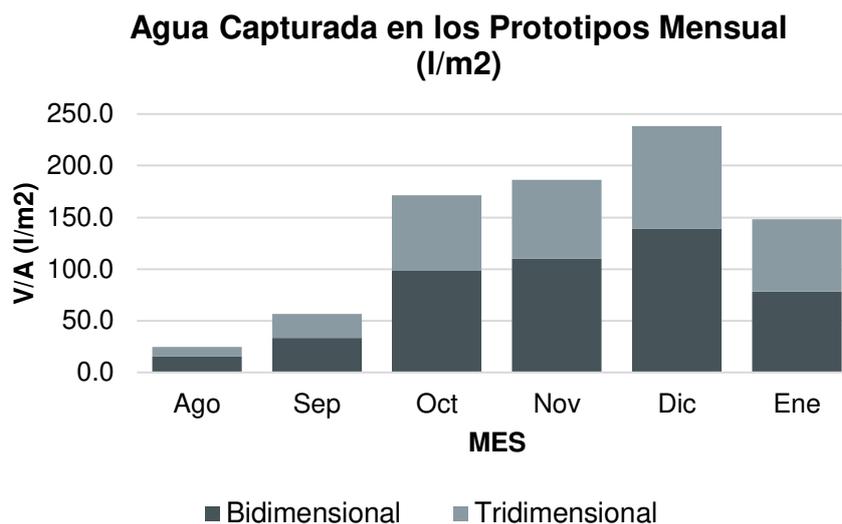
A continuación, en la figura 30 se muestra un gráfico con la cantidad de agua niebla total recogida por el diseño bidimensional y tridimensional. Estos valores ya están homogenizados en función del área de apertura de captación. Es importante mencionar que el período de recolección de agua para la presente investigación estuvo comprendido desde agosto hasta enero.



**Figura 30.** Volumen total de agua captada (l/m<sup>2</sup>) de agosto 2021 – enero 2022 por los prototipos bidimensional y tridimensional

**Fuente:** Propia

Durante los cinco meses de investigación que se llevó a cabo desde agosto a enero, se pudo determinar que el diseño bidimensional ubicado en dirección norte capturó 476.1 l/m<sup>2</sup>, mientras que el diseño tridimensional recogió un valor de 352.5 l/m<sup>2</sup>. Como resultado se obtiene que el diseño bidimensional tuvo una mayor captación correspondiente a aproximadamente un 25.9% por encima que lo capturado por el tridimensional. Por otra parte, en la figura 31 se muestra un gráfico con las cantidades de agua niebla captada mensualmente durante el tiempo de estudio.



**Figura 31.** Volumen de agua capturada (l/m<sup>2</sup>) mensualmente de agosto 2021 – enero 2022 por los prototipos bidimensional y tridimensional

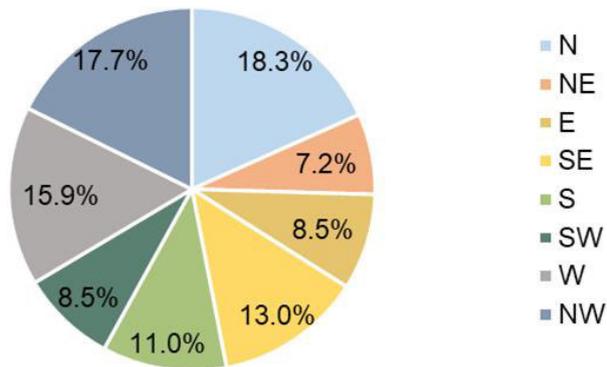
**Fuente:** Propia

Se puede observar que diciembre es el mes en el que mayor cantidad de agua de niebla se recogió en los dos diseños, el bidimensional captó un volumen de 138.7 l/m<sup>2</sup>, mientras que el tridimensional obtuvo 99.7 l/m<sup>2</sup>. En cuanto al mes de agosto es el que tiene menor captación con 15.5 l/m<sup>2</sup> para el bidimensional y 9.2 l/m<sup>2</sup> para el tridimensional. Este valor, sin embargo, corresponde únicamente a 10 días de medición debido a que los diseños se terminaron de instalar a finales del mes de agosto. Contando con este dato, se podría estimar que septiembre sería el mes con menor captación dentro del tiempo de estudio, con valores para el diseño bidimensional de 33.4 l/m<sup>2</sup> y 23.1 l/m<sup>2</sup> para el tridimensional.

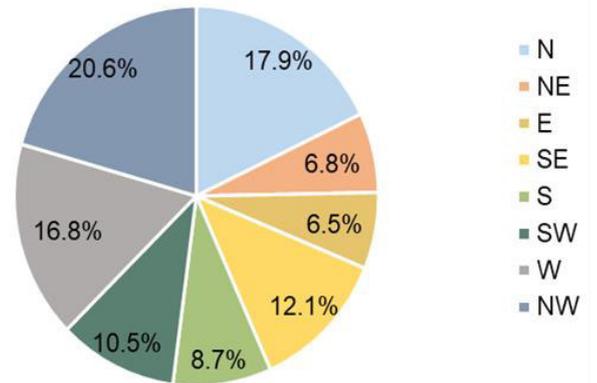
#### 4.3.2.2. Cantidad de Agua de Niebla Capturada en Cada Dirección

Se recogieron datos de agua de niebla capturada por cada pantalla del prototipo tridimensional. A continuación, en la figura 32 se muestra la cantidad de agua de niebla recogida desde agosto 2021 hasta enero 2022 en cada dirección de los puntos cardinales del diseño tridimensional.

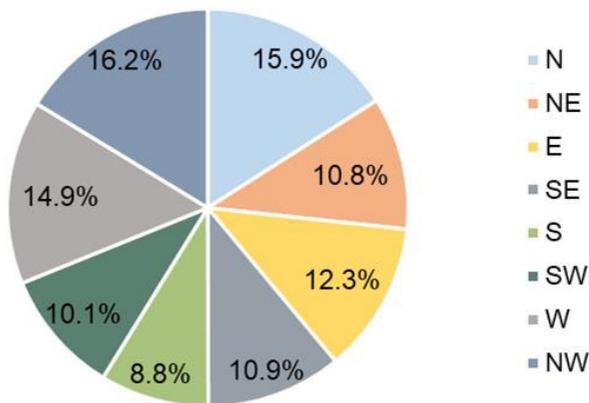
**PORCENTAJE DE AGUA CAPTURADA EN AGOSTO**



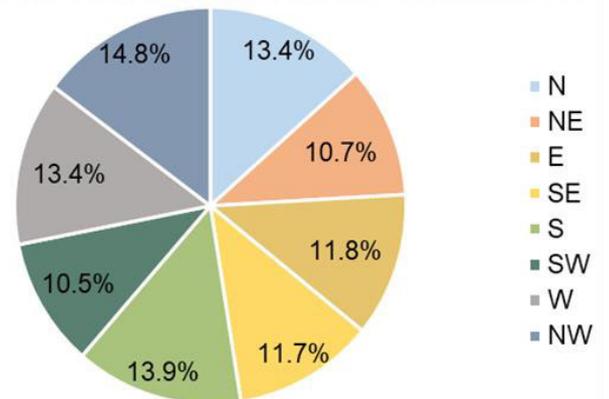
**PORCENTAJE DE AGUA CAPTURADA EN SEPTIEMBRE**



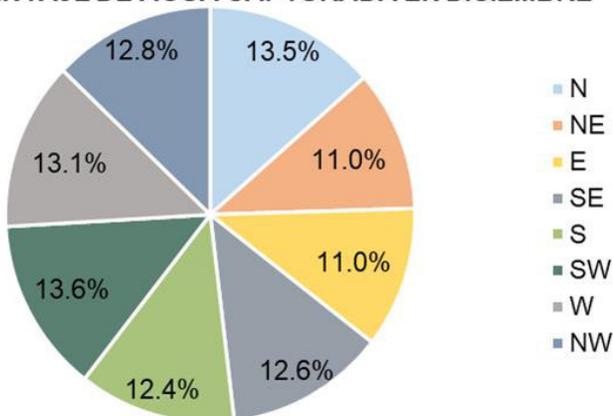
**PORCENTAJE DE AGUA CAPTURADA EN OCTUBRE**



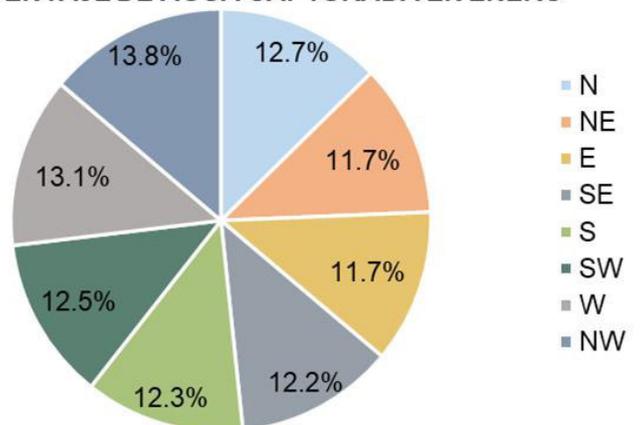
**PORCENTAJE DE AGUA CAPTURADA EN NOVIEMBRE**



**PORCENTAJE DE AGUA CAPTURADA EN DICIEMBRE**



**PORCENTAJE DE AGUA CAPTURADA EN ENERO**



**Figura 32.** Volumen de agua captada (l/m<sup>2</sup>) mensualmente de agosto 2021- enero 2022 en cada dirección del prototipo Tridimensional

Fuente: Propia

A partir del gráfico, se puede identificar el porcentaje de agua de niebla capturado mensualmente por cada una de las direcciones del diseño tridimensional. Teniendo como resultado que en el mes de agosto las direcciones con mayor cantidad de volumen capturado son *Norte* y *Noroeste* con 18.3 %, 17.7 % respectivamente, mientras que la dirección *Noreste* tiene el valor más bajo con 7.2 %. Por otra parte, para el mes de septiembre se tiene que las direcciones con mayor cantidad de volumen recogido son *Noroeste* y *Norte* con 20.6 %, 17.9% respectivamente. En cambio, el valor más bajo correspondió a la dirección *Este* con 6.5 %.

En cuanto a los resultados del mes de octubre, se puede observar que la dirección predominante para este caso fue la de *Noroeste* con 16.2 %, seguida por el *Norte* con 15.9 %. Por el contrario, la dirección *Sur* recogió la menor cantidad de agua con un 8.8%. Con respecto a lo obtenido en el mes de noviembre se tiene que la dirección con mayor cantidad de agua fue *Noreste* con 14.8 % seguida por el *Sur* con 13.9 %. Por otra parte, la dirección *Suroeste* fue la que tuvo menor cantidad con un porcentaje de 10.5%.

En relación con los valores determinados para el mes de diciembre se establece que la dirección *Suroeste* resulta predominante con 13.6 %, seguida por el *Norte* con 13.5 %. En cambio, las direcciones con menor captación fueron *Noreste* y *Este* con 11% las dos. Finalmente, los resultados de enero indican que la dirección predominante fue la de *Noroeste* con 13.8 %, seguida por el *Oeste* con 13.1 %. Por el contrario, las direcciones con menor captación fueron *Noreste* y *Este* con el mismo valor 11.7 %.

### **4.3.3. CORRELACIÓN ENTRE EL AGUA DE NIEBLA CAPTURADO Y LAS VARIABLES CLIMÁTICAS**

#### **4.3.3.1. Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson (r)**

Se realizó el análisis de la correlación que hay entre el agua de niebla capturado y las variables climáticas. A continuación, en la tabla 13 se presentan los coeficientes de correlación entre las variables y el agua de niebla.

**Tabla 13.**

*Correlación de Pearson de las variables climáticas y el agua de niebla capturado.*

	<i>Humedad Relativa</i>	<i>Punto de Rocío</i>	<i>Velocidad del viento</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Precipitación</i>	<i>Agua de niebla</i>
<i>Humedad Relativa</i>	1	0.99	-0.99	-0.86	0.99	0.95
<i>Punto de Rocío</i>	0.99	1	-0.99	-0.77	1.00	0.91
<i>Velocidad del viento</i>	-0.99	-0.99	1	0.82	-1.00	-0.91
<i>Temperatura</i>	-0.86	-0.77	0.82	1	-0.81	-0.86
<i>Precipitación</i>	0.99	1.00	-1.00	-0.81	1	0.91
<i>Agua de niebla</i>	0.95	0.91	-0.91	-0.86	0.91	1

**Fuente:** Propia

A partir de los resultados expuestos en la tabla se puede determinar que hay variables que tienen una relación fuerte con el agua de niebla capturada. Es el caso de la humedad relativa con un coeficiente de correlación cercano a 0.95. De la misma forma están las variables de punto de rocío y precipitación con un valor de 0.91 para los dos casos. Y por el contrario se obtiene que existen variables que tienen una baja relación con el agua de niebla recogida, como son la temperatura y precipitación con valores de -0.86 y -0.91 respectivamente.

#### **4.3.3.2. Prueba de Hipótesis**

Para realizar la prueba de hipótesis se utiliza la información de las correlaciones determinadas en el punto anterior y la ecuación 12. Esta prueba se lleva a cabo para comprobar si la relación entre las variables es estadísticamente significativa. En la tabla 14 se detallan los resultados de la relación estadística entre las variables y el agua de niebla.

**Tabla 14.***Prueba de hipótesis entre las variables y el agua de niebla*

	<b>Agua de niebla</b>			<i>Conclusión</i>
	<i>Estadístico de prueba (t)</i>	<i>Estadístico de prueba crítico (tc)</i>	<i>Comparación</i>	
<b>Humedad Relativa</b>	5.162	3.18	t > tc	Existe evidencia estadística de que hay correlación
<b>Punto de Rocío</b>	3.852		t > tc	Existe evidencia estadística de que hay correlación
<b>Velocidad del viento</b>	-3.766		t < tc	Existe evidencia estadística de que no hay correlación
<b>Temperatura</b>	-2.974		t < tc	Existe evidencia estadística de que no hay correlación
<b>Precipitación</b>	3.862		t > tc	Existe evidencia estadística de que hay correlación

**Fuente:** Propia

En función de los resultados, se puede identificar que las variables de humedad relativa, punto de rocío y precipitación tienen una correlación estadísticamente significativa con el agua de niebla. Por otro lado, se ha demostrado que no existe correlación estadísticamente significativa entre el agua de niebla con la velocidad del viento ni con la temperatura.

#### 4.3.4. NÚMERO DE CAPTADORES PARA SATISFACER DÉFICIT DE AGUA

Para conocer el número de captadores necesarios para satisfacer la demanda de agua se toma en cuenta el déficit que hay en los meses de julio y agosto. En la tabla 15 se muestran la información de la necesidad de riego en los dos meses y el total.

**Tabla 15.***Necesidad de agua del cultivo de maíz y precipitación mensual*

<b>MES</b>	<b>CRW (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Precipitación (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Necesidad de Riego (m<sup>3</sup>/ha)</b>
<b>Jul.</b>	599	380	219
<b>Ago.</b>	448	364	84
<b>TOTAL</b>			<b>303</b>

**Fuente:** Propia

Sin embargo, hay que tener presente que estos requerimientos no van a ser simultáneos, razón por la cual se establece realizar el análisis para cubrir la demanda de julio, puesto que si se logra satisfacer este déficit por consiguiente también va a ser posible cubrir lo que se requiere para agosto.

Otra información que se necesita son los datos obtenidos de recolección de agua de niebla del prototipo bidimensional para los meses de julio y agosto. Sin embargo, debido a que el inicio del proyecto fue a finales del mes de agosto no se cuenta con información de estos valores. Para estimar la cantidad de agua de niebla en estos meses se procedió a determinar un promedio para la temporada seca, como se observa en la tabla 16, tomando en cuenta los datos recogidos en los meses de agosto y septiembre, teniendo como resultado un promedio diario de recolección para la temporada seca de 1.22 l/m<sup>2</sup> d.

**Tabla 16.**

*Promedio diario de recolección de agua niebla para la temporada seca*

<b>Temporada Seca</b>	<b>Bidimensional l/m<sup>2</sup> d</b>	<b>Días de Recolección</b>	<b>PROMEDIO l/m<sup>2</sup> d</b>
Agosto	15.5	10	1.22
Septiembre	33.4	30	
<b>TOTAL</b>	48.9	40	

**Fuente:** Propia

Para estimar la cantidad de agua de niebla recogida en los meses de julio y agosto se multiplicó el promedio diario por 31 días que contiene cada uno de los meses. Los resultados se muestran a continuación, en la tabla 17.

**Tabla 17.**

*Promedio diario de recolección de agua niebla para la temporada seca*

<b>Meses con Déficit</b>	<b>Promedio diario l/m<sup>2</sup> d</b>	<b>Días</b>	<b>Bidimensional l/m<sup>2</sup></b>
<b>Julio</b>	1.22	31	37.92
<b>Agosto</b>		31	37.92

**Fuente:** Propia

Mediante esta información, se realiza el análisis para determinar el número de captadores necesarios para cubrir la demanda. En la tabla 18 se muestra en la primera columna el porcentaje de demanda cubierta, en la segunda se indica la necesidad de riego en metro cúbico por hectárea, en la tercera columna se presenta la cantidad de agua niebla capturada en metro cúbico por m<sup>2</sup> y en la última está el número de captadores de niebla relacionado con el porcentaje de agua requerida.

**Tabla 18.**

*Número de captadores de 1 m<sup>2</sup> para requerimiento de agua del cultivo de maíz*

<b>Demanda cubierta (%)</b>	<b>Necesidad de Riego (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Agua de niebla (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>N° Captadores (m<sup>2</sup>)</b>
<b>100</b>	219	0.0379	5775
<b>50</b>	109.5	0.0379	2888
<b>25</b>	54.8	0.0379	1444
<b>15</b>	32.9	0.0379	866
<b>10</b>	21.9	0.0379	578
<b>5</b>	11	0.0379	289
<b>1</b>	2.2	0.0379	58

**Fuente:** Propia

De los resultados se puede identificar que se requiere una gran cantidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, esto se ve reflejado en el elevado número de captadores que se necesita para cubrir el total de la demanda. Es así como se necesitan implementar 5775 captadores de niebla de 1 m<sup>2</sup> para cubrir el 100% de la demanda. Por esta misma razón, así como por factores de espacio disponible, costos de inversión y mantenimiento, se estima que no es posible solventar el requerimiento. Tomando en cuenta el área de una propiedad promedio se infiere que se podría implementar un sistema de colección de 500 captadores de niebla. Lo que correspondería cubrir cerca del 10 % de la demanda total. Esto debido a que no es posible colocar demasiados captadores de niebla incluso por el tema de alteración del paisaje. En la tabla 19 se presenta un análisis

con las dimensiones y la cantidad de captadores de niebla necesarios para cubrir la demanda de agua.

Debido a que, el captador de niebla estándar (SFC) se usa principalmente para evaluar la cantidad de agua de niebla que se puede recolectar (Batisha, 2015), a continuación, se presenta la opción de implementar captadores de niebla con mayores dimensiones mediante captadores de niebla grandes (LFC), cuya superficie varía según bibliografía desde 40 m<sup>2</sup> hasta 48 m<sup>2</sup> por unidad (Korkmaz & Kariper, 2019).

Para el análisis se estableció el área de recolección de los captadores de 40 m<sup>2</sup> y como resultado se determinó que se necesitan 14 captadores de niebla grandes para cubrir el 10 % de la demanda hídrica del cultivo. Debido a que como se mencionó anteriormente, la necesidad de agua que tienen los cultivos para su correcto desarrollo es elevado no se puede satisfacer en su totalidad el estrés hídrico que tienen.

**Tabla 19.**

*Número de captadores de 40 m<sup>2</sup> para requerimiento de agua del cultivo de maíz.*

Demanda Cubierta (%)	Necesidad de Riego (m <sup>3</sup> /ha)	N° Captadores	Área Total	
			por captador (m <sup>2</sup> )	N° Captadores (40 m <sup>2</sup> )
100	219	5775	40	144
50	109.5	2888	40	72
25	54.8	1444	40	36
15	32.9	866	40	22
10	21.9	578	40	14
5	11	289	40	7
1	2.2	58	40	1

**Fuente:** Propia

### 4.3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 4.3.5.1. Inversión Inicial

Los valores de los materiales empleados para la construcción del diseño Bidimensional se muestran en la tabla 20.

**Tabla 20.**

*Costo de materiales e inversión inicial del Diseño Bidimensional*

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
Guadúa	m	2	4	8
Barniz	L	0.4	10	4
Alambre galvanizado	m	2	0.5	1
Bridas de plástico 40cm	u	80	0.05	4
Malla Raschel	m <sup>2</sup>	1	2.4	2.4
PVC para Canaleta 1.10m- Ø 7.6 cm	m	1.1	2.3	2.3
Tapas canaletas Ø 7.6 cm	u	1	2.2	2.2
Pega tubo	u	1	1	1
Manguera 200 cm- Ø 13mm	m	1	1	1
Neplo flex 1/2"	u	2	0.4	0.8
Tanque 6L	u	1	1.5	1.5
Cable de acero 3/16"	u	16	1.1	17.6
Grillete de Acero 3/16"	8	2	1.5	3
Ripio	saco	1 ½	1.6	2.4
Arena	saco	1	1.6	1.6
Cemento	saco	½	8	4
Varilla 8mm	u	1	3.2	3.2
<b>INVERSIÓN INICIAL TOTAL</b>				<b>60</b>

**Fuente:** Propia

Se determina que el costo inicial de inversión es de \$ 60.

#### 4.3.5.2. Indicadores Financieros

En la tabla 21 se muestran los resultados de los indicadores financieros utilizados para el análisis económico.

**Tabla 21.***Indicadores financieros VAN, TIR, PRI del diseño bidimensional*

<b>Indicadores</b>	
<b>VAN</b>	\$-2.8
<b>TIR</b>	5 %
<b>PRI</b>	7.7

**Fuente:** Propia

De los resultados de los indicadores se establece que el proyecto no es económicamente viable. El Valor Actual Neto (VAN) negativo infiere en que el proyecto no genera ganancias y el resultado de la Tasa Interna de Retorno (TIR) indica que la rentabilidad de la inversión es baja. Finalmente se estima que el Período de Recuperación de la Inversión (PIR) es de siete años y aproximadamente ocho meses.

Sin embargo, hay que considerar el costo de oportunidad, debido a que en Catzuqui de Moncayo no se cuenta con el recurso hídrico para riego. Razón por la cual esta alternativa resulta una opción atractiva para obtener agua que permita satisfacer de alguna manera la necesidad de agua para riego.

## **4.4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA**

### **4.4.1. INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA**

#### **4.4.1.1. Clasificación De Los Resultados Del Inventario**

Mediante la información obtenida del inventario del ciclo de vida se procede a clasificar las salidas en función del consumo del recurso utilizado y de sus unidades. A continuación, en la tabla 22 se presenta la clasificación de los resultados del inventario del diseño Bidimensional.

**Tabla 22.***Clasificación de entradas y salidas del Diseño Bidimensional*

PROCESO	EQUIPO	Potencia (W)	Tiempo (h)	Energía consumida (Wh)
Lacado de Caña	Compresor Soplete	745.7	0.17	126.8
Armado de estructura	Taladro	450	0.5	225.0
<b>TOTAL</b>				<b>351.8</b>

PROCESO	EQUIPO/RECURSO (GPL)	Consumo de GPL (g GPL/h)	Tiempo (h)	GLP consumido (g GPL/h)
Perforación de PVC	Quemador de cocina	200	0.25	50
Perforación de Tapa	Quemador de cocina	200	0.083	16.6
Corte de Mangueras	Quemador de cocina	200	0.083	16.6
Unión de tanque a canaleta	Quemador de cocina	200	0.17	34
<b>TOTAL</b>				<b>117.2</b>

PROCESO	RECURSO	Cantidad (L)	Agua (L)
Unión de tanque a canaleta	Agua	1	1
Hormigonado de cimientos	Agua	12	
<b>TOTAL</b>			<b>13</b>

**Fuente:** Propia

Para el caso del diseño Tridimensional la clasificación de los resultados del inventario se presenta en la tabla 23.

**Tabla 23.***Clasificación de entradas y salidas del Diseño Tridimensional*

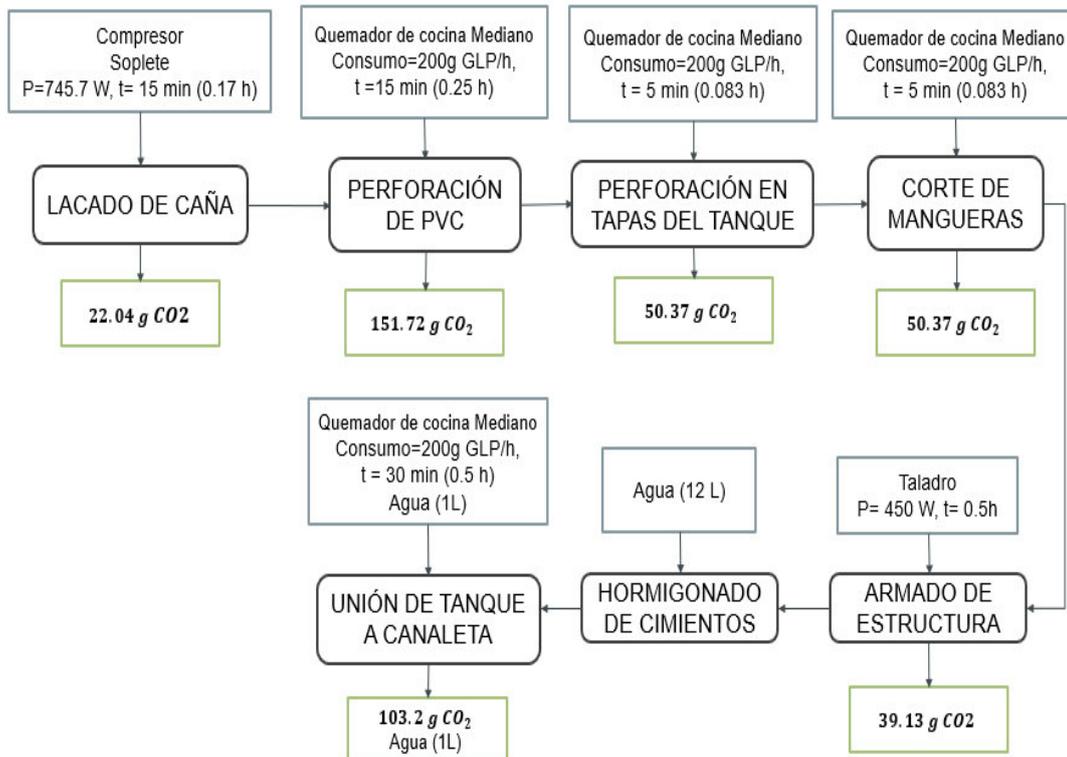
PROCESO	EQUIPO	Potencia (W)	Tiempo (h)	Energía consumida (Wh)
Lacado de Caña	Compresor Soplete	745.7	0.083	61.9
Elaboración de estructura	Amoladora	500	1	500
<b>TOTAL</b>				<b>561.9</b>

PROCESO	EQUIPO/RECURSO (GPL)	Consumo de GPL (g GPL/h)	Tiempo (h)	GLP consumido (g GPL/h)
Perforación de PVC	Quemador de cocina	200	1.33	266
Perforación de Tapa	Quemador de cocina	200	0.67	134
Corte de Mangueras	Quemador de cocina	200	0.67	134
Unión de tanque a canaleta	Quemador de cocina	200	0.5	100
<b>TOTAL</b>				<b>634</b>
PROCESO	RECURSO	Cantidad (L)	Agua (L)	
Unión de tanque a canaleta	Agua	2	1	
Hormigonado de cimientos	Agua	8		
<b>TOTAL</b>				<b>10</b>

Fuente: Propia

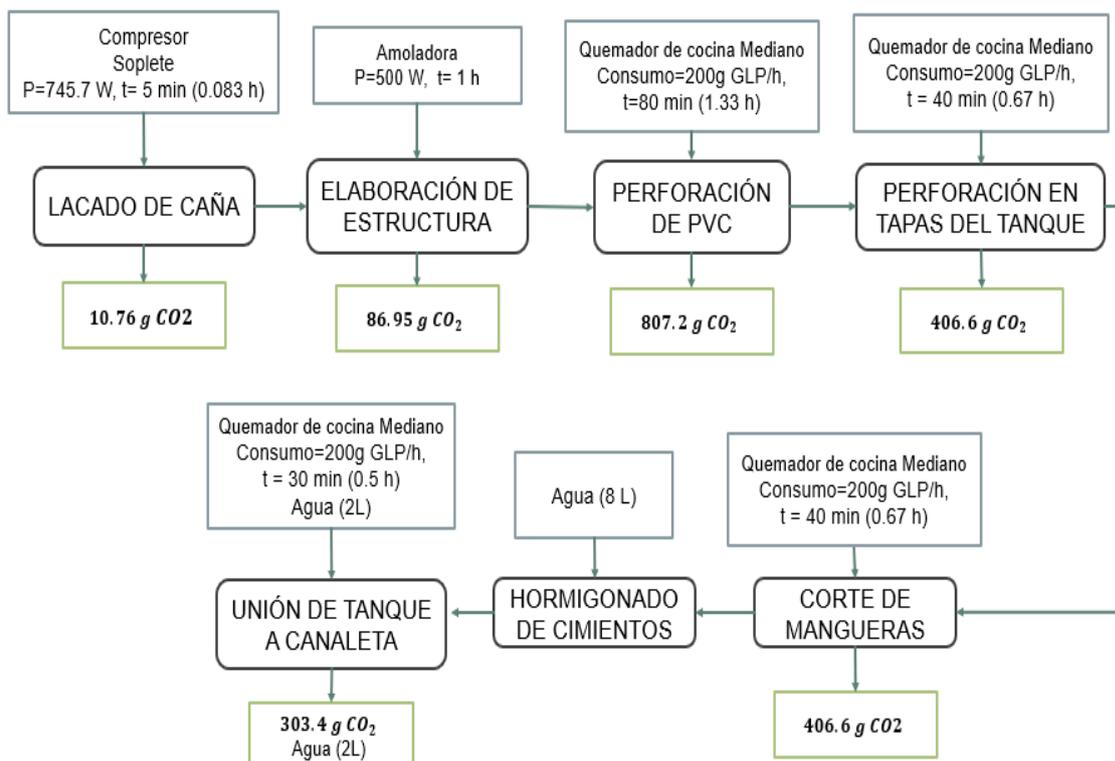
#### 4.4.1.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida

Mediante los datos obtenidos en el análisis anterior, se realiza un diagrama de flujo del proceso de construcción para cada prototipo. En la figura 33 se presenta el diagrama de flujo con las entradas y salidas del diseño bidimensional. Del análisis se establece que se emiten 416.8 g CO<sub>2</sub> y se consumen 13 litros de agua en el proceso de construcción del prototipo. De igual manera en la figura 34 se muestra el diagrama de flujo con las entradas y salidas del diseño bidimensional. En base a los resultados se determina que durante el proceso de construcción se emiten 2021.6 g CO<sub>2</sub> y se consumen 10 litros de agua.



**Figura 33.** Diagrama de flujo del Diseño Bidimensional con las entradas y salidas

Fuente: Propia



**Figura 34.** Diagrama de flujo del Diseño Tridimensional con las entradas y salidas

Fuente: Propia

#### 4.4.2. INDICADORES DE IMPACTO

En la tabla 24 se presenta un resumen con las cantidades de dióxido de carbono emitidas al ambiente, el agua utilizada y el agua de niebla recogida por cada prototipo. Además, en base a esta información en la misma tabla se muestra el valor de dióxido de carbono emitido por cada litro de agua niebla capturado por m<sup>2</sup> tanto para el diseño bidimensional como tridimensional. Y lo mismo para la cantidad de agua utilizada por cada litro de agua niebla capturado por m<sup>2</sup>.

**Tabla 24.**

*Indicadores de Impacto del diseño bidimensional y tridimensional.*

	<b>Bidimensional</b>	<b>Tridimensional</b>
<i>g CO<sub>2</sub></i>	416.8	2021.6
<i>L agua</i>	13	10
<i>L agua niebla/m<sup>2</sup></i>	476.1	352.5
<b>Indicadores de Impacto</b>		
$\frac{gCO_2}{L\ agua\ niebla/m^2}$	0.88	5.73
$\frac{L\ agua}{L\ agua\ niebla/m^2}$	0.027	0.028

**Fuente:** Propia

De los resultados se puede determinar que el diseño bidimensional genera menor emisión en el proceso de construcción con un valor de 0.88 g CO<sub>2</sub> por litro agua niebla por m<sup>2</sup>, esto debido a que para el prototipo tridimensional se requiere mayor cantidad de energía por las ocho pantallas de captación y porque recogió menor cantidad de agua de niebla.

Con respecto a la cantidad de agua utilizada, se establece que no varía significativamente teniendo como resultado que, en la implementación del bidimensional se consume 0.027 litros de agua por litro de agua niebla por m<sup>2</sup> y para el tridimensional una cantidad de 0.028 litros de agua por litro de agua niebla m<sup>2</sup>. Se puede señalar que es debido a que se requiere mayor cantidad de agua para el proceso de cimentación de los dos postes del diseño bidimensional.

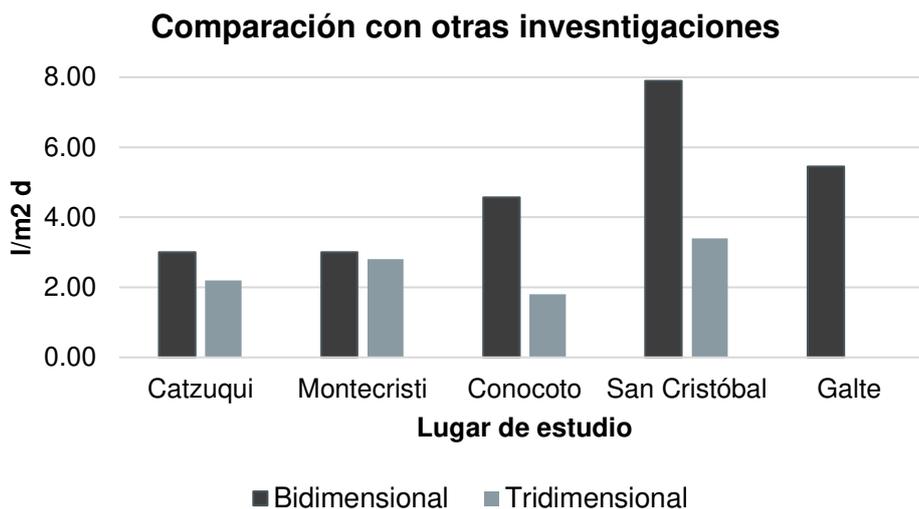
## **4.5. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS**

A continuación, se presentan comparaciones con otros estudios similares para evaluar los resultados obtenidos.

### **4.5.1. RENDIMIENTO DE AGUA DE NIEBLA CAPTURADA**

En el país se han desarrollado investigaciones para analizar el potencial de captura de agua de niebla. Así se tiene por ejemplo, el caso de Montecristi donde se implementaron prototipos con diferentes geometrías: rectangular y pirámide con rendimientos de captación de 3.0 l/m<sup>2</sup> d, 2.8 l/m<sup>2</sup> d respectivamente (Briones, 2012). De igual manera, se realizó una investigación en el sector de Conocoto donde se instalaron prototipos con diferentes diseños y se obtuvo que el diseño rectangular tuvo un rendimiento de captación de 4.57 l/m<sup>2</sup> d, mientras que el circular obtuvo 1.8 l/m<sup>2</sup> d (Gómez & Quinteros, 2020).

En lo que respecta a los resultados obtenidos en la presente investigación, se tiene que el rendimiento de captación del diseño bidimensional se estima que es 3.14 l/m<sup>2</sup> d y para el tridimensional 2.32 l/m<sup>2</sup> d. Se considera que estos valores se encuentran dentro del orden de magnitud adecuado en comparación con lo obtenido en otras investigaciones similares. En la figura 35 se presenta una comparación de los resultados obtenidos en la presente investigación con relación a otras investigaciones.



**Figura 35.** Comparación del agua de niebla captada con prototipos bidimensionales y tridimensionales en Catzuqui, Montecristi, Conocoto, San Cristóbal y Galte.

**Fuente:** Propia

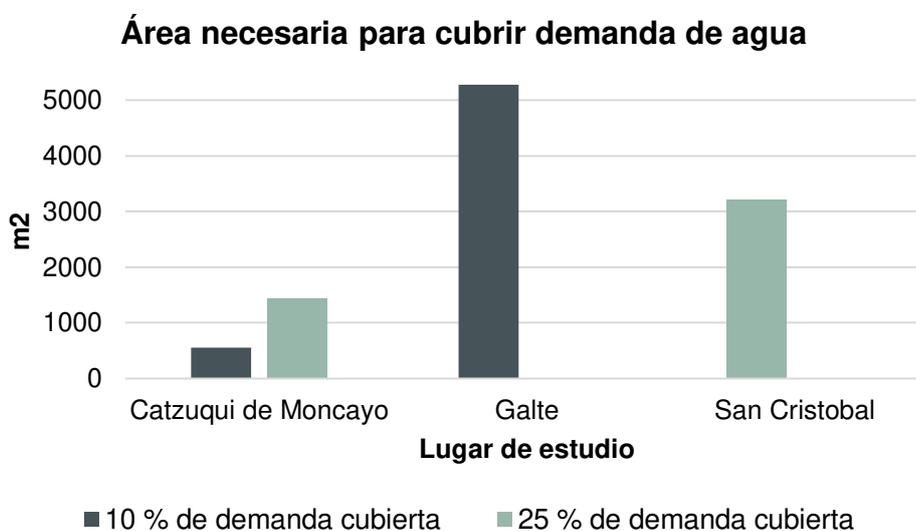
Como se puede observar en los cinco casos mostrados el diseño rectangular tuvo el mayor rendimiento en recolección de agua de niebla en relación con lo capturado por el tridimensional. Por esta razón se establece que los valores obtenidos en la presente propuesta son satisfactorios.

#### **4.5.2. NÚMERO DE CAPTADORES PARA CUBRIR DEMANDA DE RIEGO**

Se han desarrollado estudios para evaluar si el agua proveniente de la niebla puede ser una alternativa para cubrir la demanda de agua para riego que tienen los cultivos. Un ejemplo de esto es lo que hace Hidalgo (2016), en la comunidad de Galte-Chimborazo, donde instaló 7 colectores de niebla de 1 m<sup>2</sup> con el fin de evaluar el potencial de producción de agua de niebla y determinar si es posible cubrir las necesidades de agua para riego. Obteniendo como resultado que se requiere 88 captadores de niebla de 60 m<sup>2</sup> para cubrir el 10 % de la demanda de agua. Y finalmente, concluye que la extensión de los sistemas de captadores de niebla que propuso implementar no abastece completamente las necesidades de la población.

Así también, Echeverría (2018) en su proyecto desarrollado en San Cristóbal evaluó tres captadores de niebla para comprobar el potencial de recolección de agua de niebla destinado a uso doméstico rural y riego. Teniendo como resultados que para cubrir el déficit de agua para riego para un año promedio necesita implementar 67 captadores de niebla de 48 m<sup>2</sup> y para un año seco 76 captadores de 48 m<sup>2</sup>.

Con respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación, se establece que para cubrir el 10 % de demanda de agua para riego de los cultivos en una extensión de 1 ha dentro de Catzuqui de Moncayo se requieren 14 captadores de niebla de 40 m<sup>2</sup>. Mientras que, se determina que son necesarios 36 captadores de 40 m<sup>2</sup> para satisfacer el 25 % del déficit total. En la figura 36 se presenta una comparación de los resultados antes mencionados.



**Figura 36.** Comparación del área de captación necesaria para cubrir demanda de agua en Catzuqui, Galte y San Cristóbal

**Fuente:** Propia

De acuerdo con el gráfico se puede observar que, comparando los resultados del presente estudio con lo determinado en otras investigaciones similares, para cubrir la demanda de agua para riego de los cultivos en una extensión de 1 ha en Catzuqui de Moncayo se requiere menor área de captación para cubrir el mismo porcentaje de déficit hídrico que los otros estudios. De igual manera, se puede mencionar que los valores obtenidos se encuentran dentro del orden de magnitud adecuado.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Utilizando datos obtenidos de los anuarios meteorológicos publicados por el INAMHI se realizó un análisis multianual para la estimación de la caracterización meteorológica de Cazuqui de Moncayo. Según los resultados obtenidos se establece que la temporada seca (mayo a septiembre) se caracteriza por una menor cantidad de humedad relativa (74.8 %), menor cantidad de temperatura de punto de rocío (10.2 °C), no se presenta una diferencia considerable de temperatura mensual (10.7 °C), mayor velocidad del viento (5.1 km/h) y menor precipitación (73.7 mm), en comparación con la temporada lluviosa (octubre a abril) que se caracteriza por una mayor cantidad de humedad relativa (81.9 %), mayor temperatura de punto de rocío (11.8 °C), similar temperatura mensual (10.6 °C), menor velocidad del viento (3.6 km/h) y mayor precipitación (158.3 mm). Adicionalmente, mediante los resultados del coeficiente de correlación se estableció que la humedad relativa es la variable que tiene mayor relación con la cantidad de agua recolectada, logrando capturar más agua de niebla durante la temporada lluviosa, mientras que, por el contrario, se determinó que las variables de velocidad del viento y temperatura no poseen relación con el agua de niebla capturada.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que durante los 5 meses de investigación el diseño bidimensional capturó la mayor cantidad de agua de niebla (476.1 l/m<sup>2</sup>), comparado con lo recolectado por el diseño tridimensional de ocho pantallas. De igual manera, se estableció que el mayor rendimiento de recolección fue logrado por el diseño bidimensional (3.14 l/m<sup>2</sup> d). Con respecto al funcionamiento del diseño tridimensional, se estableció que la dirección predominante fue Noreste, seguida por Norte y Oeste. De este modo conforme a los resultados se resuelve que para lograr capturar mayor cantidad de agua y optimizar la recolección de agua de niebla se debe ubicar el captador de niebla perpendicular a la dirección Noroeste.

- Se analizó el ciclo de vida de los prototipos en base al proceso de construcción de cada uno y de acuerdo con los resultados se determinó que, el diseño bidimensional tuvo un menor valor de dióxido de carbono ( $0.88 \frac{\text{gCO}_2}{\text{L agua niebla/m}^2}$ ) y con respecto a la cantidad de agua no se presentó una diferencia significativa ( $0.027 \frac{\text{L agua}}{\text{L agua niebla/m}^2}$ ), comparados con los resultados obtenidos por el diseño tridimensional. Mediante esta información se concluye que el impacto que se genera durante la construcción del diseño bidimensional es menor debido a que requiere menos cantidad de materiales y construcción, y que además tiene mayor captación de agua.
- Se realizó el análisis económico del diseño bidimensional mediante información de inversión inicial, gastos e ingresos, según los resultados se determinó que el proyecto no genera ganancias y que no es viable económicamente. Adicionalmente, se estableció que el tiempo de retorno de la inversión es de siete años y ocho meses por lo que tampoco es factible a largo plazo. Sin embargo, considerando que en el sector no se cuenta con ninguna otra fuente de abastecimiento de agua para riego se establece como una oportunidad para cubrir una parte de la necesidad del recurso hídrico faltante.
- Se analizó la necesidad de agua para riego del cultivo de una hectárea de maíz y se determinó que existe un déficit del recurso hídrico en el lugar de estudio durante la temporada seca (julio y agosto). El requerimiento de agua es elevado, por lo que se necesita una gran cantidad de captadores de niebla para cubrir la demanda. Esto implica que no es viable usar captadores de niebla para cubrir el 100% de esta demanda, por el espacio y costo que esto conllevaría. Sin embargo, se determinó que se puede cubrir hasta el 10 % de la demanda con la implementación de 14 captadores con una superficie de 40 m<sup>2</sup> cada uno.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda profundizar el análisis de correlación entre variables meteorológicas que intervienen en el proceso de formación y captura de niebla. Con esta información se podría identificar con mayor facilidad si un lugar es potencialmente apto para recoger agua de niebla o no.
- Es importante implementar un sistema de monitoreo de las principales variables climáticas del lugar de estudio, tales como: humedad relativa, presión, precipitación, velocidad del viento, temperatura y temperatura de punto de rocío, esto debido a que no se cuenta con información de estaciones meteorológicas cercanas que permitan conocer realmente cuales son las condiciones del sitio y hacer una correcta caracterización. Adicionalmente, se recomienda instalar un pluviómetro para medir la precipitación diaria en el lugar con el fin de utilizar esta información para separar el agua de niebla del agua proveniente de la lluvia y determinar el valor neto de agua proveniente de la niebla.
- Es necesario realizar un análisis profundo de la dirección del viento predominante en el lugar de interés, esto con el fin de aumentar la posibilidad de captación de agua de niebla debido a que se recomienda colocar los captadores de niebla bidimensionales en dirección perpendicular a la dirección del viento predominante.
- Debido a que no se puede cubrir la demanda total del recurso hídrico debido a la gran cantidad de agua que se requiere para agricultura se recomienda destinar esta agua de niebla para otros usos que requieran una cantidad menor. Este recurso podría usarse para la ganadería o para sembrar cultivos a pequeña escala (en invernaderos caseros) para consumo propio. Se recomienda explorar otros posibles usos que se le pueden dar al agua de niebla capturada debido a que es un recurso con buenas características que tiene el potencial de convertirse en fuente de abastecimiento, especialmente en zonas en las cuales no hay otras opciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Wahab, S. A., Al-Damkhi, A. M., Al-Hinai, H., Al-Najar, K. A., & Al-Kalbani, M. S. (2010). Total fog and rainwater collection in the Dhofar region of the Sultanate of Oman during the monsoon season. *Water International*, 35(October 2014), 100–109. <https://doi.org/10.1080/02508060903502984>
- Abdul-Wahab, S. A., & Lea, V. (2008). Reviewing fog water collection worldwide and in Oman. *International Journal of Environmental Studies*, 65(3), 487–500. <https://doi.org/10.1080/00207230802149983>
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2008). *Estadística para Administración y Economía*. [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/estadistica-para-administracion-y-economia\\_anderson\\_sweeney\\_y\\_williams.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/estadistica-para-administracion-y-economia_anderson_sweeney_y_williams.pdf)
- Arena, A. (2017). *Guía metodológica: Análisis de ciclo de vida* (pp. 1–35). CONICET.
- Banco Central del Ecuador. (2022). *Tasas de Interés Efectivas*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- Batisha, A. F. (2015). Feasibility and sustainability of fog harvesting. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.01.002>
- Briones, A. (2012). *Captación de Agua de Bruma en el Cerro Montecristi en la Época Seca y su Impacto en el Consumo Humano por Medio de Fenómenos Termodinámicos Naturales*. Universidad Técnica de Manabí.
- Carter, V., Carrasco, J., Mora, D., & Olgúin, J. (2016). Captación De Aguas Lluvias Mediante Uso De Tecnología De “Atrapanieblas.” In *Boletín INIA* (pp. 47–72). <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40389.pdf>
- Cereceda, P., Espejo, R., Pinto, R., Larrain, H., Vela, F., Osses, P., & Schemenauer, R. S. (2002). Fog measurements at the site “ Falda Verde ” north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *Elsevier Science*,

- 64, 273–284. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(02\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(02)00098-4)
- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J., & Rivera, J. de D. (2014). *Agua de Niebla: Nuevas Tecnologías para el Desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas*.
- Dagnino, J. (2014). Coeficiente de correlacion lineal de pearson. In *Revista Chilena de Anestesia* (Vol. 43, Issue 2, pp. 150–153).  
[http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff\\_15\\_correlacion-2-2014\\_edit.pdf](http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf)
- Del Pozo, H. (2017). *Suplemento al Registro Oficial No. 69* (pp. 1–24).  
<https://www.registroficial.gob.ec>
- Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1, 1–20.
- Domínguez, C., Echeverría, P., Villacís, M., & Violette, S. (2019). Capítulo III- Evaluación de la cosecha de neblina como una fuente potencial para el aprovechamiento de agua. In *INGA ORTEGA* (pp. 97–142).  
<https://doi.org/10.7476/9789978104910.0005>
- Echeverría, P. (2018). *Potencial de la captura de niebla para uso doméstico rural y riego durante la época seca del año en la Isla San Cristóbal, Galápagos, Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19347>
- Edwards, E. C., & Nehra, A. (2019). Importance of freshwater for irrigation. *Encyclopedia of the World's Biomes*, 4–5, 22–28.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11913-X>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS). (2022). *Precipitación Diaria Estación C02 Rumihurco*. EPMAPS.
- Estrela, M. J., Valiente, J. A., Corell, D., & Millán, M. M. (2008). Fog collection in the western Mediterranean Basin (Valencia region, Spain). *Atmospheric Research*, 87(3–4), 324–337. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.11.013>

- Fallas, J. (2012). *Pruebas de Hipotesis* (pp. 1–54).  
[http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/prueba\\_hipotesis\\_2012.pdf](http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/prueba_hipotesis_2012.pdf)
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2006). *Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.  
<https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Fessehayé, M., Abdul-Wahab, S. A., Savage, M. J., Kohler, T., Gherezghiher, T., & Hurni, H. (2014). Fog-water collection for community use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 52–62.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.063>
- Gandhidasan, P., & Abualhamayel, H. I. (2007). Fog collection as a source of fresh water supply in the Kingdom of Saudi Arabia. *Water and Environment Journal*, 21(1), 19–25. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2006.00041.x>
- Gómez, A., & Quinteros, J. (2020). *Diseño e implementación de torres atrapanieblas (3d) y ecosistema informático de monitoreo con internet de las cosas y aprendizaje automático* [Universidad Central del Ecuador].  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21785>
- Guerrero, D. (2014). *Evaluación de la tecnología de captura de agua de neblina como alternativa a la escases de agua para consumo humano en la comunidad de Shaushi del cantón Quero provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato].  
<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7690>
- Gutiérrez, P., & Benavente, L. C. (2021). El Impacto Ambiental del Análisis del Ciclo de Vida en la Industria. In Ó. Tinoco (Ed.), *Dirección general de Investigación* (Primera Ed, Issue January, pp. 1–93).
- Haro, L. (2020). *Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador- Informe 2020*. [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/emision\\_de\\_co2\\_del\\_sistema\\_nacional\\_interconectado\\_de\\_ecuador\\_informe\\_2020.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_informe_2020.pdf)

- Hidalgo, D. (2016). *Captación de Agua por Medio de la Técnica de Atrapanieblas en las Comunidades Campesinas de Galte, Cantón Guamote, Provincia de Chimborazo, Ecuador* [Universidad de las Fuerzas Armadas].  
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11891>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana* (pp. 1–149).  
<https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5796>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología- (INAMHI). (2021). *Anuarios Meteorológicos*. <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- International Organization for Standardization ISO 14040. (2006). *Standard 14040:2006: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- Inzunza, J. (2019). Meteorología Descriptiva. In *Universitaria*.
- Kariper, A. (2021). A low-cost , high-efficiency , new generation material for fog harvesting fumed silica-doped polypropylene. *Npj Clean Water*, 24, 9.  
<https://doi.org/10.1038/s41545-021-00117-2>
- Klemm, O., Schemenauer, R. S., Lummerich, A., Cereceda, P., Marzol, V., Corell, D., Van Heerden, J., Reinhard, D., Gherezghiher, T., Olivier, J., Osses, P., Sarsour, J., Frost, E., Estrela, M. J., Valiente, J. A., & Fessehayé, G. M. (2012). Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. *Ambio*, 41(3), 221–234. <https://doi.org/10.1007/s13280-012-0247-8>
- Klöppfe, W., & Grahl, B. (2014). Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice . *Journal of Industrial Ecology*, 20(4).  
<https://doi.org/10.1111/jiec.12424>
- Korkmaz, S., & Kariper, I. A. (2019). Fog harvesting against water shortage. *Environmental Chemistry Letters*, 18(2), 361–375.  
<https://doi.org/10.1007/s10311-019-00950-5>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System*

- Sciences*, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca. (2016). *La Política Agropecuaria Ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025 I parte*. <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/05/01PPP2016-POLITICA01.pdf>
- Ministerio del Ambiente y Agua. (2016). *Los “atrapa nieblas” dan agua a 30 familias de los páramos de Shaushi- Tungurahua – Ministerio del Ambiente y Agua*. <https://www.ambiente.gob.ec/los-atrapa-nieblas-dan-agua-a-30-familias-de-los-paramos-de-shaushi-tungurahua/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2017). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)- Alimentación y Agricultura*. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/food-and-agriculture/>
- Osses, P., Schemenauer, R. S., Cereceda, P., Larrain, H., & Correa, Y. C. (2000). Los atrapanieblas del Santuario Padre Hurtado y sus proyecciones en el combate a la desertificación. *Revista de Geografía Norte Grande*, 27, 61–67.
- Pascual, J. A., Naranjo, M. F., Payano, R., & Medrano, O. (2011). Tecnología para la Recolección de Agua de Niebla. *IV Simposio Internacional Tecnohistoria*, 1–20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4806.7048>
- Proyecto Sica, Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca, & INEC. (2002). *III Censo Nacional Agropecuario* (pp. 1–63). [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/CNA/Tomo\\_CNA.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf)
- Qadir, M., Jiménez, G. C., Farnum, R. L., Dodson, L. L., & Smakhtin, V. (2018). Fog Water Collection: Challenges beyond Technology. *Water*, 10(4), 1–10. <https://doi.org/10.3390/w10040372>
- Riera, C., & Pereira, S. G. (2013). Entre el riesgo climático y las transformaciones productivas: la agricultura bajo riego como forma de adaptación en Río Segundo, Córdoba, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 82, 52–65. <https://doi.org/10.14350/rig.33718>

- Rivera, J. de D. (2011). Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors. *Atmospheric Research*, 102(3), 335–342.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.08.005>
- Sarochar, H. E. (2009). Introducción a la Meteorología General. In *Universidad nacional de la plata. Facultad de ciencias Astronómicas y Geofísicas* (pp. 1–25).  
[http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion\\_a\\_la\\_Meteorologia\\_I.pdf](http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion_a_la_Meteorologia_I.pdf)
- Schemenauer, R. S. (2004). Collection Projects Hajja and Saada, Yemen. *FogQuest News*, 12, 1–4.
- Schemenauer, R. S. (2007). Fog collection projects. *FogQuest News*, 21, 1–4.  
[http://www.fogquest.org/newsletters/fog\\_newsletter\\_0710.pdf](http://www.fogquest.org/newsletters/fog_newsletter_0710.pdf)
- Schemenauer, R. S., Fuenzalida, H., & Cereceda, P. (1988). *A Neglected Water Resource : The Camanchaca of South America*. 69(2), 138–147.
- Seo, D., Lee, J., Lee, C., & Nam, Y. (2016). The effects of surface wettability on the fog and dew moisture harvesting performance on tubular surfaces. *Scientific Reports*, 6, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep24276>
- Shanyengana, E., & Henschel, J. (2002). *Exploring fog as a supplementary water source in Namibia*. 64, 251–259.
- Sosa, B., & Larrea, D. (2014). El riego , planificación y tecnificación. In *Foro de los Recursos Hídricos*.
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). *PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019-2027*. Secretaría del Agua.
- Vaca-Jimenez, S., Gerbens-Leenes, P. ., & Nonhebel, S. (2019). The water footprint of electricity in Ecuador: Technology variation indicates pathways towards waterefficient electricity mixes. *Water Resources and Industry* 2, 2(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100112>
- Vallecillo, H. (1999). *Guía Técnica- Las Necesidades de Riego en los Cultivos* (pp. 1–12). FRAG- Fortalecimiento en Riego Agrícola.

Van Heerden, J., Olivier, J., & Van Schalkwyk, L. (2010). Fog Water Systems in South Africa: An Update. *5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, 202–206.

<https://meetingorganizer.copernicus.org/FOGDEW2010/FOGDEW2010-79.pdf>

Viteri, M. del P., & Tapia, M. C. (2018). Economía ecuatoriana: de la producción agrícola al servicio. *Espacios*, 39, 1–6.

<https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p30.pdf>

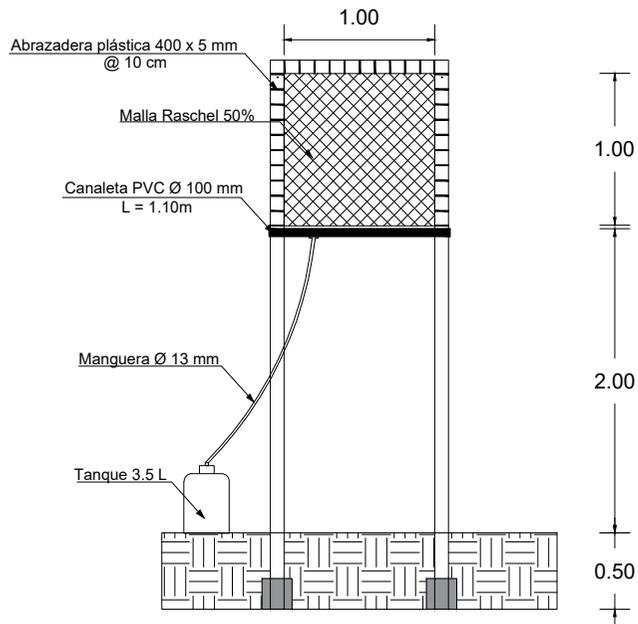
Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). El riego en Ecuador : problemática, debate y políticas. In *Camaren Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas*.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**  
**RECONOCIMIENTO DEL LUGAR**

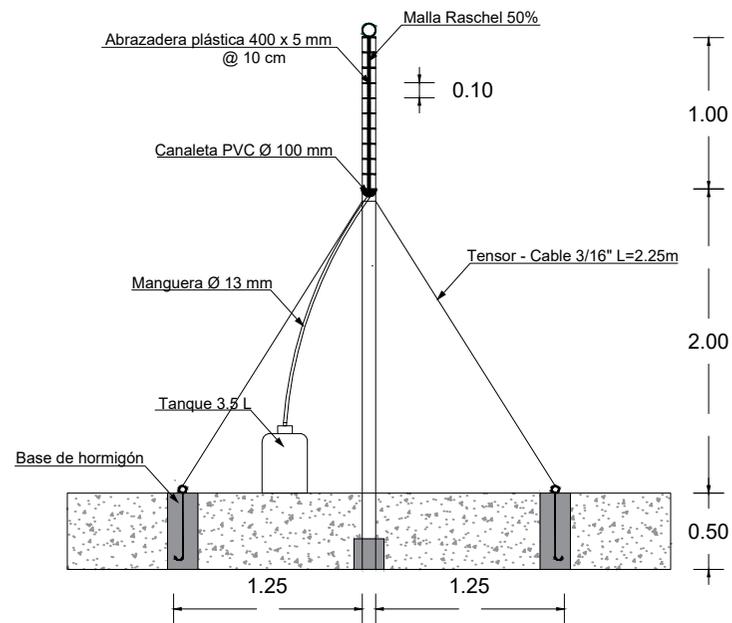


**ANEXO 2.**  
**PLANO DISEÑO BIDIMENSIONAL**

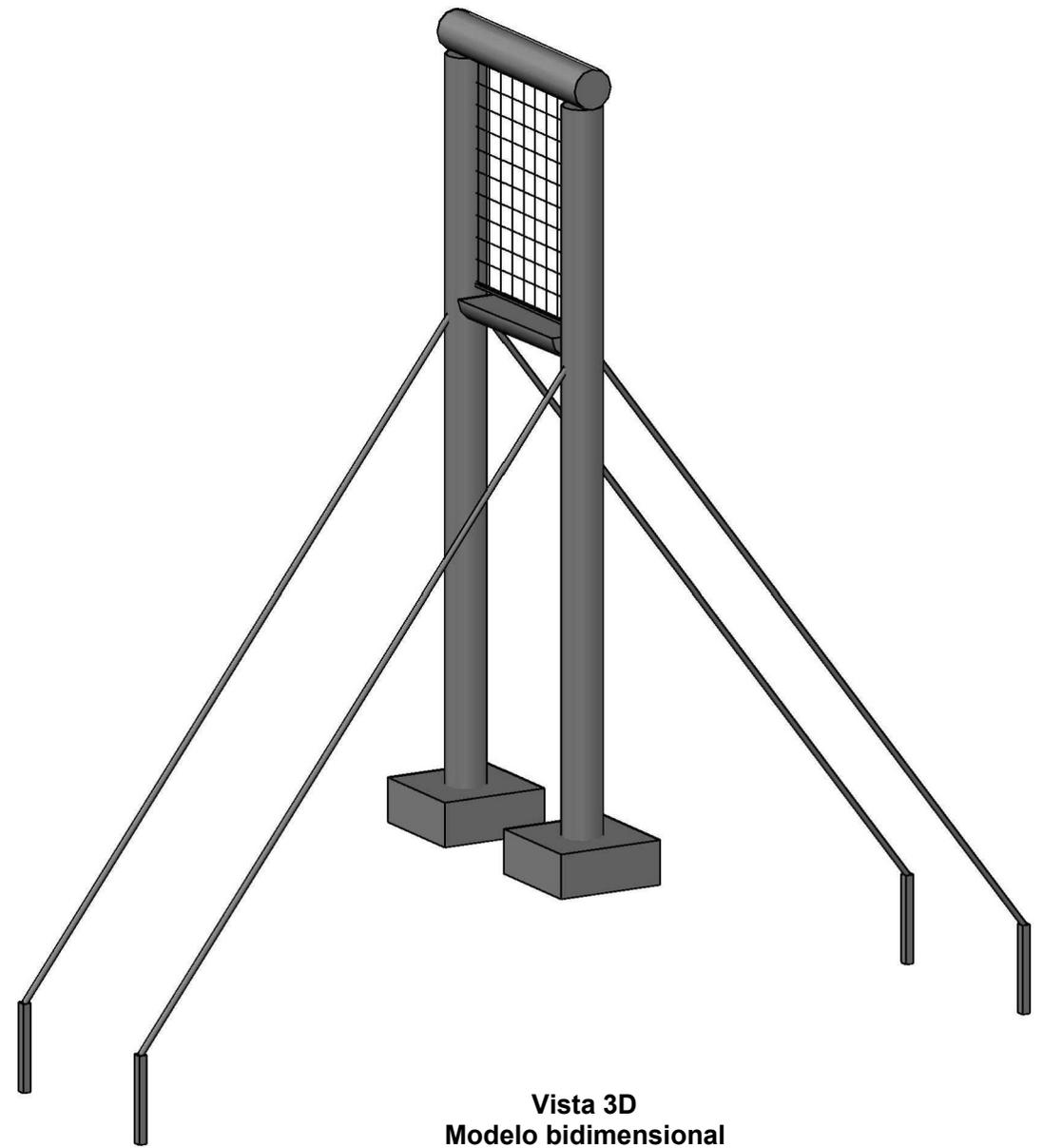


**Vista 2D frontal**  
**Modelo bidimensional**

ESCALA .....1:50



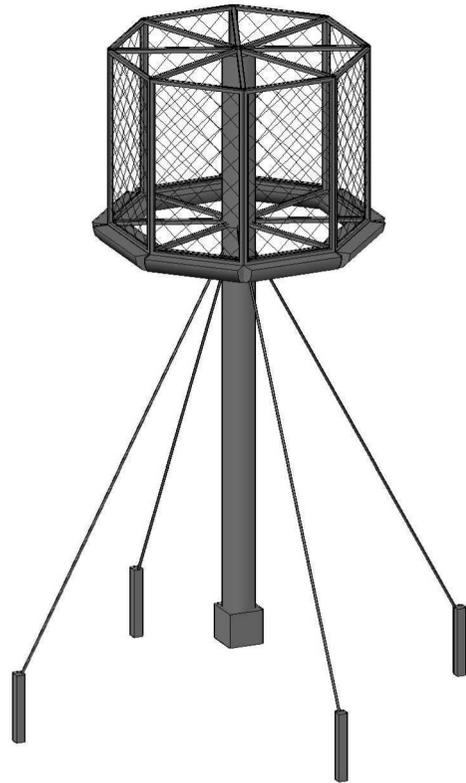
**Vista 2D lateral**  
**Modelo bidimensional**



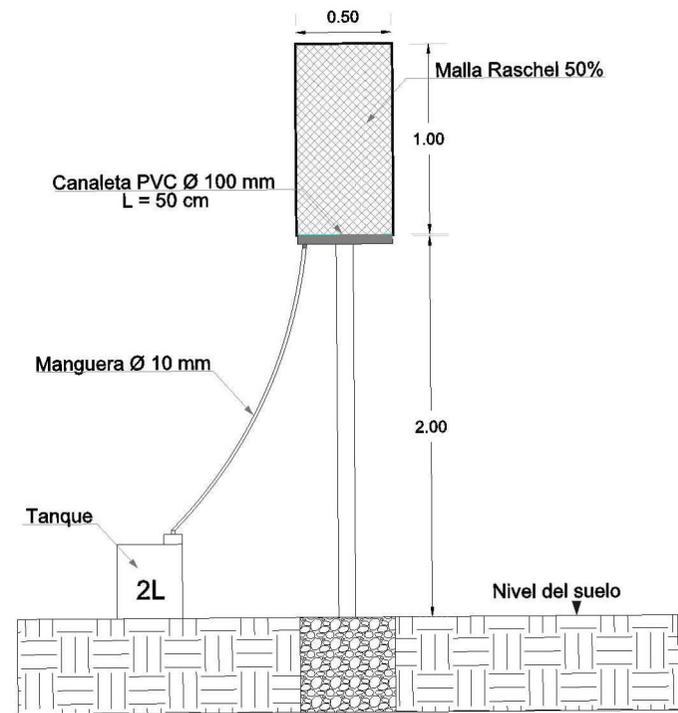
**Vista 3D**  
**Modelo bidimensional**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
ATRAPANIEBLA CUADRADO - MODELO BIDIMENSIONAL	
NOMBRE:	ERIKA ISABEL PÉREZ POZO
FECHA:	30/05/2021

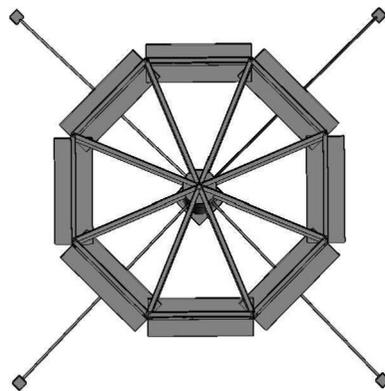
**ANEXO 3.**  
**PLANO DISEÑO TRIDIMENSIONAL**



Vista 3D  
Modelo octogonal



Vista 2D frontal - Atrapaniebla octogonal  
ESCALA ..... 1:50



Vista 3D superior  
Modelo octogonal

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL	
ATRAPANIEBLA OCTOGONAL - MODELO TRIDIMENSIONAL	
NOMBRE:	ERIKA ISABEL PÉREZ POZO
FECHA:	30/05/2021
ESQUEMA:	1

**ANEXO 4.**  
**BITÁCORA**

