

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TECNICA PARA LA RECOLECCION DE AGUAS
LLUVIAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ATRAPANIEBLAS Y/O CELDAS
AQUACELL EN ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE MACANAL - BOYACÁ

YEISON FERNEY BARRETO VELASQUEZ
JHONATAN ARLEY LEON MERCHAN



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TECNICA PARA LA RECOLECCION DE AGUAS
LLUVIAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ATRAPANIEBLAS Y/O CELDAS
AQUACELL EN ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE MACANAL - BOYACÁ

YEISON FERNEY BARRETO VELASQUEZ
JHONATAN ARLEY LEON MERCHAN

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil



Director

HENRY ALBERTO CORDOBA
Ingeniero Civil. MSc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the license, [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



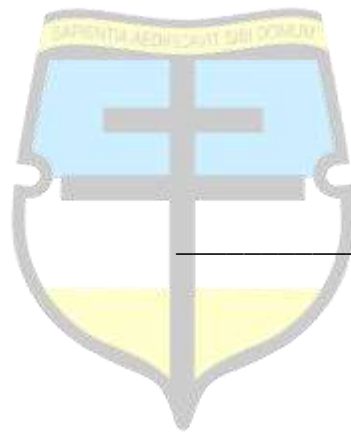
Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de aceptación



Firma del presidente del jurado

UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

Firma del jurado

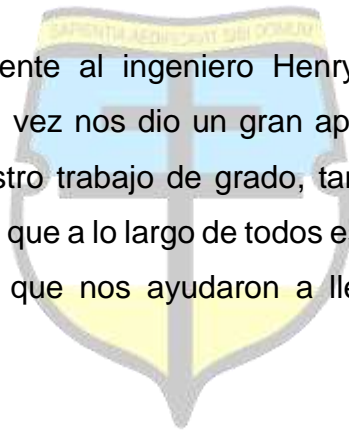
Firma del jurado

Bogotá, Mayo de 2021

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios en primera instancia, por ser el quien nos ha dado la inspiración y la fortaleza que son necesarias para llevar a buen término este proceso, un agradecimiento afectuoso para nuestros padres, porque gracias a ellos hemos logrado llegar hasta este punto de nuestras vidas, pudiendo llegar a cumplir nuestras metas propuestas.

Agradecer muy especialmente al ingeniero Henry Alberto Córdoba, quien fue nuestro director y que a su vez nos dio un gran apoyo para poder culminar de la mejor manera posible nuestro trabajo de grado, también un agradecimiento para todos nuestros compañeros que a lo largo de todos estos años fueron un gran apoyo creando lazos de amistad que nos ayudaron a llevar a buen término nuestros estudios.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
INTRODUCCION	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	19
MARCOS DE REFERENCIA	20
MARCO CONCEPTUAL	20
MARCO TEORICO	21
PRECIPITACION	22
EL AGUA EN LAS ZONAS RURALES	23
COMO ESTIMAR LAS NECESIDADES DEL AGUA	23
USOS DE AGUA EN ZONAS RURALES.....	26
¿QUE ES LA CAPTACION DE AGUAS LLUVIAS?.....	26
METODOS PARA LA RECOLECTA DE AGUA DE NIEBLA.....	26
ATRAPANIEBLAS	27
CELDAS AQUACELL.....	29
ENERGÍA HIDRÁULICA	30
METODOLOGIA.....	32
MARCO LEGAL	33
ESTADO DEL ARTE	34
ANTECEDENTES HISTORICOS	34
LOS ATRAPANIEBLAS EN EL MUNDO	35
PICOCENTRALES HIDROELECTRICAS	40

CARACTERIZACION DE LA ZONA.....	43
Ubicación geográfica del municipio de Macanal:	43
ACTIVIDAD AGRICOLA:	43
HIDROGRAFIA:	44
FINCA VELASQUEZ:	44
ANALISIS HIDROLOGICO	45
POLIGONOS DE THIESSEN:	48
CURVA IDF ESTACIÓN ALTO MUCENO:	51
BALANCE HIDRICO	53
DETERMINACIÓN DE CAUDAL PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA.....	56
SELECCIÓN DE TURBINA Y GRUPO GENERADOR.....	60
Hidro-generador:	62
Turbina:	62
Generador:	64
Equipo de transformación y control:	65
DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN ATRAPANIEBLAS	66
DIMENSIONAMIENTO DE LOS ATRAPANIEBLAS:	67
UBICACIÓN DE LOS ATRAPANIEBLAS:	69
ELABORACIÓN DE RED DE TUBERÍAS “SISTEMA DE RIEGO”	71
DISEÑO Y ANALISIS EN EPANET SISTEMA DE RIEGO:	77
PRESUPUESTO PROPUESTO PARA IMPLANTACION	85
ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	86
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	90
BIBLIOGRAFIA.....	91

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Indicaciones de estrategias generales para manejar el recurso hídrico en función de las condiciones	24
Tabla 2: Descripción de la normativa	33
Tabla 3: Estaciones Meteorológicas	46
Tabla 4: Precipitaciones Estación quebrada Honda	46
Tabla 5: Precipitaciones estación la Esperanza.....	47
Tabla 6: Precipitaciones estación Alto Muceno.....	47
Tabla 7: Precipitaciones estación agrícola Macanal	48
Tabla 8: Áreas y precipitaciones de los polígonos	50
Tabla 9: Método de bloques alternos.....	52
Tabla 10: Precipitaciones estación Alto Muceno.....	53
Tabla 11: Datos de Temperatura	54
Tabla 12: Datos de evapotranspiración	54
Tabla 13: Balance hídrico	55
Tabla 14: Caudales (m ³ /s) estación Alto Muceno.....	57
Tabla 15: Presupuesto de implementación	85

LISTADO DE GRAFICAS

Grafica 1: Curva IDF estación Alto Muceno	51
Grafica 2: Balance hídrico.....	55
Grafica 3: Curva característica de la bomba	74

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Desglose de conceptos	20
Ilustración 2: Ciclo hidrológico simplificado con sus componentes y fases.....	21
Ilustración 3: Panel de atrapanieblas	28
Ilustración 4:Funcionamiento de Atrapanieblas	29
Ilustración 5:Celda Aquacell Pavco Wavin.....	29
Ilustración 6: Metodología.....	32
Ilustración 7: Dibujo anónimo del árbol fuente o Garoé	34
Ilustración 8:Estructuras “Atrapanieblas” instalados en Tojquia a 3300 msnm	35
Ilustración 9:Estructura de atrapanieblas instalado en la Aguada a 203 msnm	36
Ilustración 10:Atrapanieblas vereda el Verjón.....	38
Ilustración 11:Nebulón - sistema de atrapanieblas - Chipaque, Cundinamarca.....	39
Ilustración 12: MACANAL - BOYACA	43
Ilustración 13:Finca Velásquez	44
Ilustración 14: Ubicación estaciones meteorológicas.....	45
Ilustración 15:Ubicación estaciones meteorológicas.....	48
Ilustración 16: Trazado de las estaciones.....	49
Ilustración 17: Mediatrices	49
Ilustración 18: Polígonos de Thiessen	50
Ilustración 19: Hietograma de diseño.....	53
Ilustración 20: Software Hidroesta 2	57
Ilustración 21: Distribución Normal	58
Ilustración 22: Distribución Log-Normal de 2 parámetros	58
Ilustración 23: Distribución Gumbel	59
Ilustración 24: Distribución Log-Gumbel	59
Ilustración 25: Micro-central.....	60
Ilustración 26: Elementos de la microcentral VERNIS	61
Ilustración 27: Esquema eléctrico de la microcentral	62
Ilustración 28: Hidrogenerador	62
Ilustración 29: Rodete de la turbina turgo	63
Ilustración 30: Inyectores	63
Ilustración 31: Pie Hidrogenerador con 4 inyectores.....	64
Ilustración 32: Generador	64
Ilustración 33:Equipo de transformación y control	65
Ilustración 34: Ondulador.....	66
Ilustración 35: Dimensiones atrapanieblas	67
Ilustración 36: Alzado Atrapanieblas.....	68
Ilustración 37: Vista en planta atrapanieblas	69
Ilustración 38: Altimetria Finca Velásquez	70
Ilustración 39: Distribución de espacios.....	71

Ilustración 40: Información técnica motobomba.....	73
Ilustración 41: Bomba Centrifuga.....	73
Ilustración 42: Área Cultivable	75
Ilustración 43: Dimensionamiento del tanque	76
Ilustración 44: Área de Cultivo	77
Ilustración 45: Requerimientos en nodos.....	78
Ilustración 46: Datos líneas de riego.....	78
Ilustración 47: Datos reservorio de agua	79
Ilustración 48: Análisis de presión en los nodos	79
Ilustración 49: Análisis de nodos.....	80
Ilustración 50: Análisis de nodos.....	80
Ilustración 51: Análisis líneas de flujo	81
Ilustración 52: análisis líneas de flujo.....	81
Ilustración 53: Manguera de Polietileno	82
Ilustración 54: Tee de Acople interna.....	82
Ilustración 55: Válvula de bola	83
Ilustración 56: Conectores para riego	83
Ilustración 57: Detallado sistema de riego	84



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

RESUMEN

La presente propuesta de trabajo, radica en el aprovechamiento del recurso hídrico generado por las precipitaciones en zonas rurales, Teniendo como base que el agua generada por las lluvias en épocas de invierno y/o las que caen en épocas de verano, se llegan a aprovechar como suministro de agua en cualquier época del año; se pretende realizar una recolección de estas aguas mediante la utilización de sistemas modernos tales como los atrapanieblas y los sistemas aquacell de pavco, para esto se pretende trabajar y evaluar su viabilidad en una finca piloto, la cual estará ubicada en el departamento de Boyacá, municipio de Macanal.

En esta finca se busca hacer un aprovechamiento de todos los espacios de esta, para lo cual en primer lugar se busca que el almacenamiento de las aguas generadas por las precipitaciones se haga en la parte más baja de la finca, y a partir de estas y de las velocidades con que se transporte el agua y con la ayuda de una turbinas poder generar energía eléctrica la cual ayudara para poner en funcionamiento un sistema de bombeo, el cual servirá para transportar el agua desde este reservorio hasta las partes más altas de la finca, esto para garantizar a los agricultores el que puedan hacer fácilmente la utilización de este recurso para el regadío de sus cultivos por medio de gravedad, cabe mencionar que con la implementación de estos sistemas para esta zonas de este departamento y de este municipio en particular, buscamos generar una ayuda para aquellas familias las cuales no cuentan con una gran cantidad de este recursos para ejecutar las tareas de riego de sus cosechas, y en las cuales por medio de esta recolección de aguas lluvia poder mitigar un poco la falta de líquido en tiempo de verano o de pocas lluvias.

INTRODUCCION

En el mundo actual y centrándonos en nuestro país, los sectores rurales han sido históricamente una gran zona de producción de fortunas, y dentro de esto se destaca el buen manejo de sus recursos en los cuales se ha cimentado su base económica. Es por eso que aún en estos tiempos que se viven y a pesar de la crisis que actualmente presenta este sector la importancia que este genera al desarrollo de nuestro país es de una importancia muy grande y notoria, de ahí a que cualquier tipo de implementación de técnicas que puedan ayudar a mejorar el rendimiento y la productividad de nuestros campesinos siempre será bienvenido.

Uno o por no decir el más importante de los recursos que necesitan nuestros agricultores es el suministro de agua, puesto que este es considerado como una necesidad limitante para la presencia de la vida, dentro de esto las aguas lluvias comenzaron a jugar un papel muy importante a la hora de poder contribuir para el suministro de este recurso, ya que la recolección y el aprovechamiento de estas precipitaciones llegan a representar una práctica asequible la cual se puede utilizar para distintos propósitos, puesto que si se realiza una apropiada recolección puede esta llegar a favorecer significativamente en el mejoramiento del desarrollo económico de estas comunidades, en las cuales en algunos periodos del año no se puede tolerar la notoria ausencia del suministro de este líquido .

Para esto los sistemas de recolección de aguas generadas por las precipitaciones en su gran mayoría presentan los mismos elementos, que son la captación, su almacenamiento y su posterior distribución, dentro de estos componentes lo que hace marcar una diferencia es el posterior uso que se le quiera dar a este recurso y de esto depende el tipo de sistema que se implementara.

De ahí el objetivo de la presente propuesta la cual busca evaluar la viabilidad de la utilización de sistemas de recolección de aguas lluvias como lo son los atrapanieblas y/o las celdas aquacell de Pavco en zonas rurales, estas a su vez complementadas con la utilización de turbinas para generar energía eléctrica las cuales alimentarían un sistema de bombeo para su respectivo funcionamiento y así poder hacer una distribución de aguas, esto ayudaría a que este sistema sea lo más auto sustentable posible, con el objetivo primordial que es el de darle una modernización, sin dejar de lado la ruralidad, a sectores olvidados por el país y en los cuales se busca dar un mejor bienestar a estas comunidades.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como es bien sabido en la actualidad el mundo se está enfrentando a cambios drásticos a nivel ambiental generados por el cambio climático, este proceso se ha venido acelerando en los últimos años debido al mal manejo que la mano del hombre le está dando a los recursos naturales que nos provee la tierra; según lo establecido por el 2030 Water Resources Group (2030 WRG) donde revelan: *Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual* ¹.

En el departamento de Boyacá, en años anteriores para algunas zonas se ha evidenciado la escasez de agua, en el municipio de Macanal, en las zonas rurales las familias se han visto afectadas debido a que las nacientes de agua y/o quebradas se han venido secando con el tiempo, es por esto que los agricultores se han visto afectados ya que no pueden realizar sus labores cotidianas, y ya que esta es una zona donde la mayoría de las familias depende de la siembra de frijol, lulo, cítricos, maíz, entre otros cultivos, es de suma importancia tratar de buscar soluciones en los cuales las personas se vean beneficiadas y puedan retomar estas labores.

Debido a estos inconvenientes que ya se vienen presentando, se busca de alguna manera poder aprovechar al máximo el recurso hídrico proveniente de las aguas generadas por las precipitaciones, y ya que nuestro país se encuentra ubicado sobre la línea del ecuador, en donde es una zona que presenta grandes cantidades de lluvias (entre 500 y 5.000 mm por año, dependiendo de la región), lo hace viable

¹ Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura. [Sitio Web]. UNESCO [Consultado: 15 octubre de 2020]. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf>

para poder implementar sistemas que permitan la recolección de este recurso y poder utilizarlo posteriormente en tareas domésticas, regadíos de cultivos, etc.

Con esto se busca establecer: **¿Qué tan favorable es impulsar la modernización de las zonas rurales, sin perder su esencia, donde se presentan pocas precipitaciones?**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

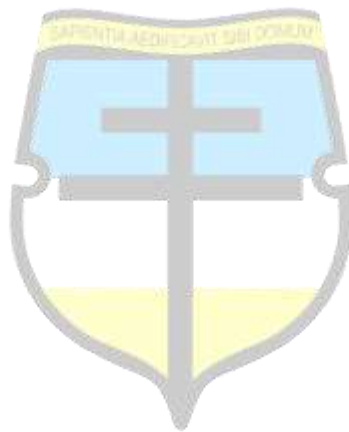
JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la recolección de las aguas lluvias se ha vuelto una de las soluciones más eficientes ya que estas se pueden aprovechar para la realización de tareas como lo son el riego de cultivos, jardines y demás tareas domésticas tanto a nivel residencial como comercial; como es bien sabido existe un incremento en forma exponencial de la demanda de agua algunos sectores del mundo, y en nuestro país ya se ha venido evidenciando este crecimiento ya que este recurso no logra ser suficiente para suplir algunas de las necesidades básicas, debido a esto resulta indispensable pensar en algunas soluciones interesantes las cuales nos sirvan para generar un mayor aprovechamiento de aguas lluvias, estos sistemas son altamente eficientes ya que le permite a las comunidades el poder ahorrar recursos tanto naturales como económicos y a su vez les permite mejorar sustancialmente la calidad de vida.

La siguiente propuesta busca mediante la utilización de sistemas de recolección de aguas lluvias (atrapanieblas y/o aquacell de Pavco), poder generar la modernización en zonas rurales y tener un aprovechamiento de estas precipitaciones, para que nuestros campesinos puedan economizar recursos y llevar un alivio hacia aquellas zonas donde las comunidades poseen ciertas cantidades de tierras, pero las cuales por no contar con el recurso hídrico, se ven obligadas a realizar otro tipo de trabajos que a veces no alcanzan a satisfacer las necesidades de quienes las trabajan.

Para la puesta en marcha de estos sistemas auto sostenibles se deben analizar ciertas características las cuales son esenciales en cuanto a la pluviosidad que se genera en la zona a intervenir, la cual nos va a dar una idea de si puede ser viable o no la implementación de estos sistemas, la oferta y la demanda que este puede generar para la utilización como sistema de riego de los cultivos, esto siempre y cuando se evalué la viabilidad técnica que puede generar la ejecución de estos métodos de almacenamiento de agua de niebla.

Esto nos supone un reto muy importante el cual es el tratar de avanzar hacia la modernización del campo sin dejar de lado la ruralidad, en donde nuestros cultivadores puedan implementar un sistema el cual aproveche ciertos espacios en las fincas y poder destinarlos para el almacenamiento de aguas evaluando que estos no ocupen cierta cantidad de espacio y genere costos inherentes, es decir que sea eficiente y seguro, valorando todas las alternativas para poder tener un buen posicionamiento y distribución de este recurso.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnica que logra generar la recolección de agua de niebla para zonas rurales del municipio de Macanal – Boyacá, mediante la utilización de atrapanieblas, además de buscar generar energía eléctrica que apoye el uso de un sistema de bombeo.

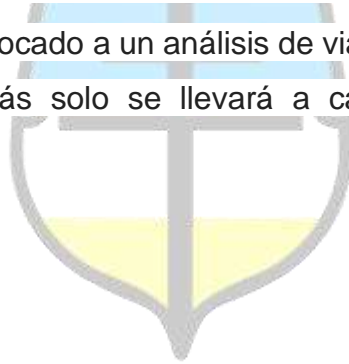
OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✚ Realizar un análisis y descripción de los sistemas utilizados para el aprovechamiento de aguas lluvias los cuales pueden ser adaptables en la zona rural del municipio de Macanal – Boyacá.
- ✚ Establecer de una manera detallada los espacios que pueden llegar a servir como áreas funcionales para la recolección y almacenamiento de las aguas lluvias en la finca establecida para la realización de este trabajo.
- ✚ Efectuar un estudio hidrológico de la cuenca a la cual pertenece la zona, donde se pueda evidenciar la cantidad de precipitaciones que se generan durante las épocas de invierno y verano.
- ✚ Establecer parámetros de diseño para los sistemas a implementar a partir de los estudios realizados.
- ✚ Conocer el caudal disponible en el cauce escogido, para así elegir el tipo de turbina y el grupo generador a implementar, para obtener una potencia que permita poner en marcha el sistema de bombeo.

ALCANCES Y LIMITACIONES

A partir de este proyecto se busca evaluar la viabilidad técnica de la ejecución de una alternativa para recolectar agua de niebla, en la zona rural del municipio de Macanal – Boyacá, realizando un análisis hidrológico del sector con el cual podamos establecer si es viable la utilización de sistemas de atrapanieblas y/o celdas aquacell, además de llevar a cabo el montaje de una turbina hidráulica en un cauce cercano que proporcione la potencia necesaria para garantizar el funcionamiento del sistema de bombeo, que permita llevar dichas aguas recolectadas a otros sectores de la finca donde se establecerá el proyecto.

Ya que el proyecto está enfocado a un análisis de viabilidad, el proyecto se hará de forma esquemática, además solo se llevará a cabo para una finca piloto en especial.

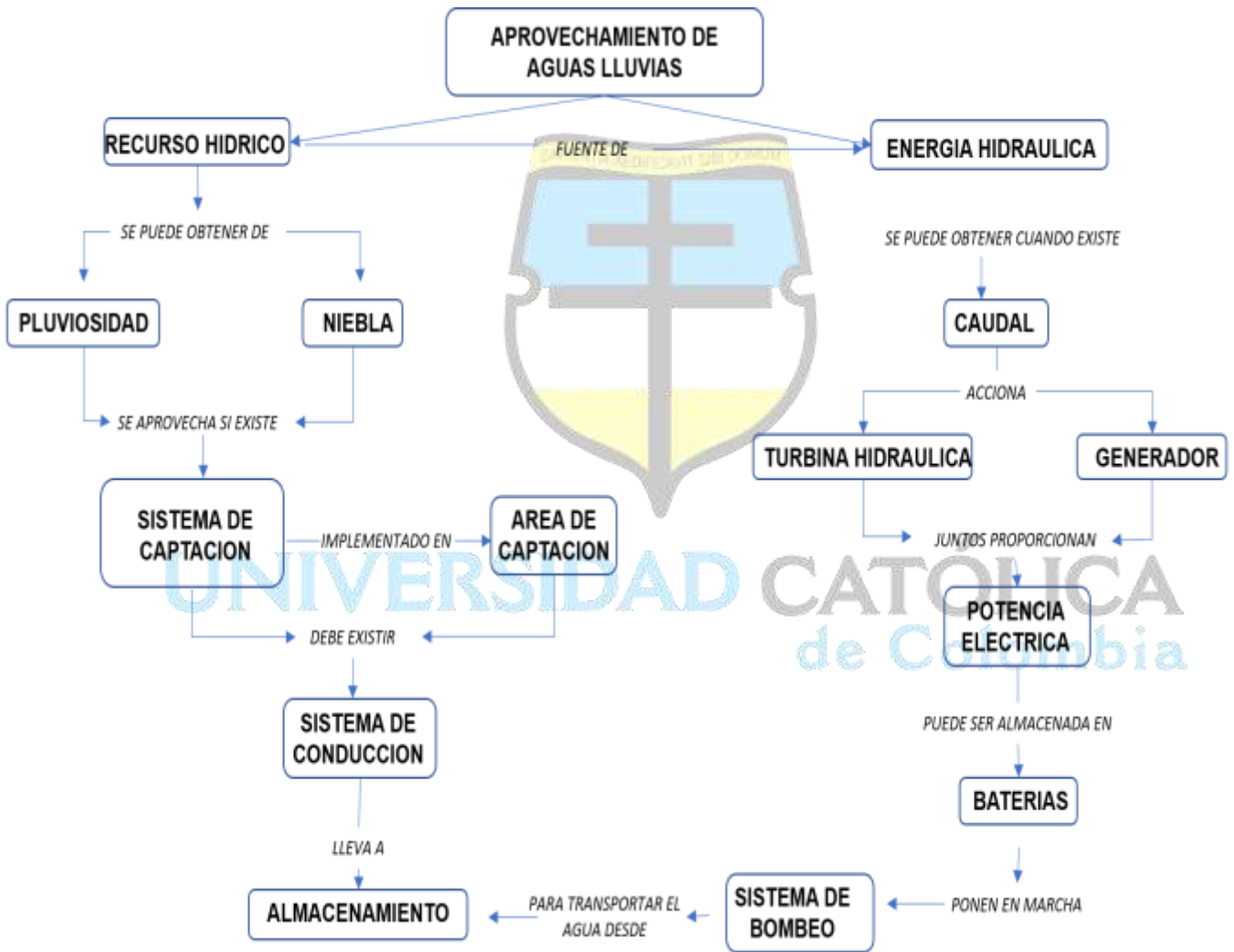


UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

MARCOS DE REFERENCIA

MARCO CONCEPTUAL

Ilustración 1: Desglose de conceptos



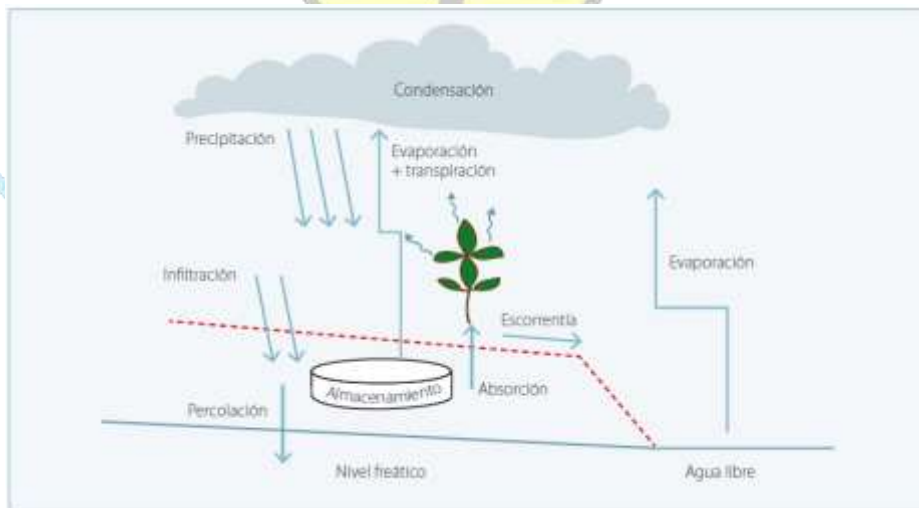
FUENTE: Elaboración propia

MARCO TEORICO

Cuando hablamos del recurso hídrico tenemos que hacer referencia a que esta es toda aquella agua que se encuentra disponible en nuestro planeta y la cual se encuentra establecida mediante un ciclo, es por esto que con la llegada de nuevas tecnologías es de gran importancia en poder buscar formas por las cual se pueda dar un mejor uso y manejo a este recurso ya sea en cualquiera de las diversas fases que conforman el llamado ciclo hidrológico.

Este ciclo lo podemos resumir en una “sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmosfera a la tierra y volver a la atmosfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación”².

Ilustración 2: Ciclo hidrológico simplificado con sus componentes y fases.



FUENTE: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Sitio Web]. FAO [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 12). Disponible en: < <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf> >

El ciclo presenta diferencias cuantitativas y cualitativas en sus diversos componentes y fases, conforme la región o zona y hay que aprender a convivir con

² D.F. CAMPOS ARANDA. Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí, México. 1998. Pag 1-4. Editorial: Universitaria Potosina.

sus características naturales. Por esta razón es importante revisarlo e indicar los posibles cambios provocados por el manejo y uso de las tierras. El agua es esencial para la vida y su escasez afecta negativa y profundamente las posibilidades de desarrollo de una región. Sin agua disponible todo el tiempo, quedan comprometidas las posibilidades de progreso económico y bienestar.³

PRECIPITACION

Como dice Maderey Rascón⁴, la precipitación es la caída del agua que se genera desde la atmosfera hasta la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o solidificada, forma parte del ciclo hidrológico, esta se puede generar por condensación o acumulación de agua en la atmosfera la cual crea nubes que se encuentran en estado gaseoso.

El agua que se genera producto de la precipitación puede llegar a tomar varios caminos:

- Almacenada en la superficie vegetal: esto se puede generar cuando hay lluvias cortas o con poco volumen y en las cuales la población vegetal es muy espesa, en las cuales el agua sufre evaporación sin haber tocado el suelo.
- Alcanzar la superficie e infiltrarse: esto ocurre debido a que el suelo es un medio poroso, y por lo cuales presenta diferentes velocidades de infiltración del agua dentro de este.
- Alcanzar la superficie del suelo y escurrir: esto ocurre en el momento en que la intensidad de la lluvia prevalece sobre la velocidad de infiltración que presenta el suelo debido a esto se origina la escorrentía superficial.

³ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Sitio Web]. FAO [Consultado: 18 octubre de 2020]. Disponible en: < <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf> >

⁴ MADEREY R. LAURA HELENA. Principios de Hidrogeografía y estudio del ciclo hidrológico. México. 2005. No. 1. Pag. 15.

Las características más importantes del régimen de lluvia relacionadas con el tema de aprovechamiento de agua son: Frecuencia de las lluvias y volumen, intensidad (las lluvias muy intensas tienden a perderse por escorrentía, mientras que las menos intensas tienden a infiltrarse y se aprovechan más) ⁵.

EL AGUA EN LAS ZONAS RURALES

En las zonas rurales las tierras que la conforman pueden recibir agua desde diferentes fuentes, ya sea por medio de precipitaciones, aguas subterráneas, desviaciones de ríos, quebradas, lagos, embalses, o por la elevada humedad de la atmosfera en la superficie la cual se transforma en la denominada niebla. Por lo anterior una de las fuentes más comunes y que aportan agua a estos sectores rurales son las lluvias, estas se generan de manera aleatoria es decir que los usuarios no presentan algún tipo de control sobre la frecuencia con que estas se generan, su distribución geográfica o sobre la cantidad de volumen que estas presentan, pero si es posible establecer para estas zonas análisis estadísticos y de comportamientos de ocurrencia histórica de cómo puede llegar a ser el comportamiento de estas precipitaciones en un determinado tiempo.

COMO ESTIMAR LAS NECESIDADES DEL AGUA

Este se debe proyectar como el servicio el cual va a tender a suplir las necesidades de los consumidores, “Para estimar las necesidades (también llamada demanda), se identifican todos los consumidores, desde el más pequeño hasta el mayor y se definen los litros diarios individuales por consumir”⁶

⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Sitio Web]. FAO [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 14). Disponible en: < <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf> >

⁶PONGUTÁ H. JUAN JOSÉ. Guía para el almacenamiento, manejo y conducción del agua. Bogotá D.C. 2005. Pag. 10.

Debido a esto la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias se hace muy necesaria en la medida que:

“El patrón de ocurrencia de lluvias, en términos de volumen precipitado, está en el límite inferior o por debajo de la cantidad requerida por los diferentes tipos de uso en la finca, su distribución temporal es variable con la estación del año, su distribución es incierta (patrón poco definido), pudiendo haber excesos y déficits en diferentes periodos o estaciones”⁷.

Tabla 1. Indicaciones de estrategias generales para manejar el recurso hídrico en función de las condiciones

Condición climática*	Características	Ambiente dominante	Estrategia de manejo del agua
Muy húmeda y húmeda (más de 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación abundante. Dominan excedentes hídricos casi todo el tiempo, sin déficit severo o prolongado. Pueden ocurrir periodos de déficit cortos (veranillos o estacionales).	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos profundos y meteorizados. » Percolación profunda y lixiviación de nutrientes. » Vegetación abundante. » Disponibilidad de fuentes de agua. » Napa freática profunda, en terrenos de altitud, y alta, en terrenos de llanura (donde puede existir mal drenaje o exceso de agua). 	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener infiltración elevada en el suelo. » Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica. » Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje. » Drenaje puede ser necesario en terrenos llanos. » Baja necesidad de almacenar artificialmente el agua para utilización posterior.
Subhúmeda (800 a 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación superior a la evapotranspiración en parte del año e inferior en otros meses (déficit estacional más común y severo, régimen de precipitación puede ser muy errático).	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos profundos y meteorizados. » Vegetación menos abundante. » Disponibilidad estacional y más escasa de fuentes de agua. » Alternancia de profundidad de la napa freática puede ser grande localmente. 	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener infiltración elevada en el suelo. » Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en el periodo húmedo. » Son recomendables técnicas para captar y almacenar agua en el periodo húmedo para uso en el periodo seco.

⁷ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Sitio Web]. FAO [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 18). Disponible en: < <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf> >

Tabla. 1. (Continuación)

<p>Semiárida (200 a 800 mm de precipitación anual)</p>	<p>Precipitación inferior a evapotranspiración durante gran parte del año. Déficit puede alcanzar casi todo el año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos poco profundos y poco meteorizados. » Salinidad frecuente. » Vegetación pobre y característica de regiones con déficit hídrico. » Fuentes de agua escasas. » Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. 	<ul style="list-style-type: none"> » Mantener infiltración elevada en el suelo en los meses lluviosos. » Control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en los meses lluviosos. » Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje. » Es indispensable aplicar técnicas para captar y almacenar agua en el período húmedo.
<p>Árida (menos de 200 mm de precipitación anual)</p>	<p>Precipitación baja. Déficit todo el año.</p>	<ul style="list-style-type: none"> » Suelos poco meteorizados. » Salinidad frecuente. » Vegetación casi inexistente. » Fuentes de agua son muy escasas y localizadas. » Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. 	<ul style="list-style-type: none"> » Prioridad absoluta para consumo humano. » Mantener hábitos y actividades productivas que dependan el mínimo del agua.

FUENTE: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Sitio Web]. FAO [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 18). Disponible en: < <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf> >

De esta manera, “se puede afirmar que el balance de agua en la finca se acerca a la escasez en la medida que se reducen los aportes de agua al sistema o cuando los volúmenes de salidas y consumo de agua se acercan al aporte. En estos casos, los procedimientos para captación y aprovechamiento del agua adquieren prioridad”⁸.

Es por esto que el establecer sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias representa una de las estrategias más importantes a la hora de hacer un uso racional del agua. Dentro de esto para poder tener un éxito en la implementación de estos sistemas es necesario generar desarrollo en la comunidad comenzando por la educación, mediante capacitaciones que permitan generar conciencia en la comunidad acerca del aprovechamiento eficiente que se le puede dar al recurso hídrico en este caso generado por las precipitaciones.

⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Sitio Web]. FAO [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 20). Disponible en: < <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf> >

USOS DE AGUA EN ZONAS RURALES

En estas zonas las familias que las habitan requieren agua para desarrollar las actividades domésticas, agrícolas y pecuarias, dentro de los cuales se pueden tener en cuenta algunos aspectos importantes:

- ✓ “Uso doméstico, donde se encuentran encerrado lo que es el agua necesaria para cocinar, beber, aseo de las instalaciones, entre otras.
- ✓ La necesaria para consumo animal, siempre y cuando las fincas tengan en su haber la producción pecuaria.
- ✓ Para la producción de cultivos se debe tener en cuenta el tipo de planta que se está sembrando y el volumen de agua que están pueden absorber para realizar su producción.
- ✓ También hay que tener en cuenta las pérdidas que se pueden generar por fenómenos como la evaporación, percolación y escorrentía”⁹.

¿QUE ES LA CAPTACION DE AGUAS LLUVIAS?

Es una técnica que permite capturar o desviar la precipitación de agua caída en un área determinada, para ser utilizada en el riego de cultivos bajo invernaderos, huertas familiares, o en la vida diaria de los hogares de los productores de zona áridas o con poca precipitación ¹⁰.

METODOS PARA LA RECOLECTA DE AGUA DE NIEBLA

Las técnicas de captación y aprovechamiento de agua lluvias tienen un origen empírico los cuales se han venido utilizando desde las épocas antiguas y con el

⁹ Fondo internacional del desarrollo agrícola. FIDA. Captación y almacenamiento de aguas lluvias, opciones técnicas para la agricultura familiar en América latina y Caribe. Chile. 2013. Pag. 26.

¹⁰ Instituto de investigaciones agropecuarias. [Sitio Web]. INIA. [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 12). Disponible en: < https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75632_archivo_01.pdf >

pasar del tiempo estas técnicas se han venido mejorando o perfeccionando de tal manera que cumplan de una manera más eficiente con las diferentes finalidades que estas puedan llegar a tener. “La captación y consecuente almacenamiento contribuye directamente a mejorar la calidad de vida y a liberar mano de obra al interior de la finca”¹¹.

Para el desarrollo de este proyecto se tienen en cuenta dos sistemas de recolección de agua los cuales son los atrapanieblas y las celdas Aquacell de Pavco, los cuales serán descritos a continuación:



ATRAPANIEBLAS

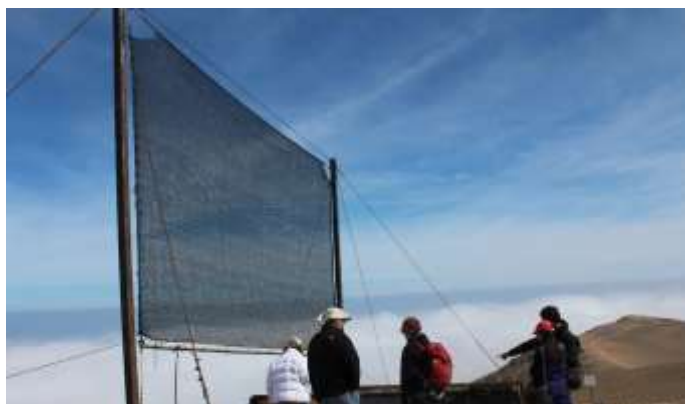
Es un sistema utilizado para recolectar las gotas de lluvia de tamaño microscópicas que se encuentran generalmente en forma de neblina y que pueden ser transformadas para darles un uso. “No se trata de un sistema que ‘crea’ agua, dado que esta existe en la niebla en forma de microgotas. El atrapanieblas lo que hace es absorber o atrapar esa agua y reutilizarla para el consumo humano o para actividades como el riego”¹².

Este sistema de atrapanieblas es una forma sostenible de conseguir agua y de frenar aquellos problemas relacionados con la escasez o falta de agua en zonas donde abunda la sequía, pero que a su vez existe paso de niebla.

¹¹ RADULOVICH, Ricardo; RODRIGUEZ, Roduel; MONCADA Orlando. Captación de agua lluvia en el hogar rural. Costa Rica. 1994. Pag. 3.

¹² Fundación del Agua. [Sitio Web]. Fundacionaquae.org. [Consultado: 16 octubre de 2020]. Disponible en: < <https://www.fundacionaquae.org/atrapanieblas/> >

Ilustración 3: Panel de atrapanieblas



FUENTE: Fundación del Agua. [Sitio Web]. Fundacionaquae.org. [Consultado: 16 octubre de 2020].

Disponible en: < <https://www.fundacionaquae.org/atrapanieblas/> >

Los atrapanieblas son estructuras compuestas por dos postes que sostienen una malla de polipropileno, que tiene como función capturar la niebla que pasa a través de la red, hasta formar gotas de agua que se deslizan hasta la parte inferior de la malla, la cual es recolectada por canaletas. Los paneles que conforman el atrapanieblas suelen colocarse, de manera ideal, en sitios altos en donde el viento corre con una mayor velocidad, puede ser entre los 300 y 800 msnm¹³.

“Los atrapanieblas pueden proveer de agua que cumpla con los requisitos exigidos por la OMS, respecto de los estándares de agua potable para comunidades rurales o grupos de casas, pudiendo ser distribuida a los hogares mediante la gravedad”¹⁴.

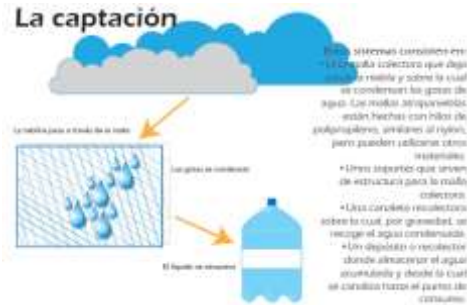
“El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), junto a investigadores chilenos, comprobaron que se puede obtener agua del aire o de la neblina aún en ecosistemas como el desierto, para el consumo humano y diversas actividades como la agricultura y la ganadería. Se destaca que en promedio un atrapanieblas puede llegar a recolectar de tres a cinco litros al día, aunque se han reportado

¹³ Fundación del Agua. [Sitio Web]. Fundacionaquae.org. [Consultado: 16 octubre de 2020]. Disponible en: < <https://www.fundacionaquae.org/atrapanieblas/> >

¹⁴ CARRASCO JIMENEZ, Jorge. Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias. Chile. 2016. Pag. 50.

rendimientos de hasta 30 litros diarios, esto dependiendo de variables como la velocidad y dirección del viento, el punto de rocío, la humedad, el lugar y la misma estructura”¹⁵.

Ilustración 4: Funcionamiento de Atrapanieblas



FUENTE: Comunicación de sustentabilidad y RSE. [Sitio Web]. Expoknews.com. [Consultado: 17 octubre de 2020]. Disponible en: < <https://www.expoknews.com/que-es-un-atrapanieblas/>>

CELDAS AQUACELL

son un sistema que acopia agua en el área donde se precipita para ser contenida dentro de la estructura formada por las celdas, este sistema reduce el riesgo de inundaciones, acumulando aguas lluvia para el reúso, amortiguación o infiltración en el suelo.

Ilustración 5: Celda Aquacell Pavco Wavin



FUENTE: [Sitio Web]. Pavcowavin.com.co. [Consultado: 18 octubre de 2020]. Disponible en: < <https://pavcowavin.com.co/manejo-de-aguas-lluvia-aquacell-pavco/>>

¹⁵ Comunicación de sustentabilidad y RSE. [Sitio Web]. Expoknews.com. [Consultado: 17 octubre de 2020]. Disponible en: < <https://www.expoknews.com/que-es-un-atrapanieblas/>>

“El sistema almacena agua en el área donde se precipita para luego ser absorbida dentro de la estructura formada por las celdas Aquacell, se infiltra en el suelo o puede ser retenida antes de ser descargada al alcantarillado o conservada para ser reusada en riego, limpieza o aparatos sanitarios”¹⁶. Este sistema presenta un sumidero que posee una trampa de sedimentos los cuales tienen la función de controlar el paso de residuos (basuras) en un primer lavado que son generados por las aguas lluvias.

“La unidad de Aquacell es de forma modular (1.0 m x 0.5 m x 0.39), liviana (9 Kg) y con una capacidad del 95% (185 litros). Pueden ser grapadas en capas simples o sobrepuestas en múltiples capas. Las conexiones al sistema, se realizan por medio de tubos NOVAFORT PAVCO WAVN de 160 mm. Cuando se requiere retener el agua en un sistema Aquacell, éste se envuelve en geomembrana PAVCO WAVIN de 30 MILS y para infiltrar al terreno se envuelve en un Geotextil PAVCO WAVIN no tejido, NT 2500. Se requiere sedimentación del agua antes de entrar en las unidades Aquacell”¹⁷.

ENERGÍA HIDRÁULICA



La energía Hidráulica es aquella la cual posee el agua a través de su movimiento cuando cuando esta recolectada en un embalse, como energía potencial, a una diferencia de nivel y se libera dando como resultado la energía eléctrica. Siendo esta energía empleada en lugares con gran cantidad de agua.¹⁸

“La energía hidráulica se obtiene mediante el paso del agua por una turbina que se acopla a un generador. En este proceso se transforma la energía cinética en energía mecánica y a su vez el generador convierte la energía mecánica en energía

¹⁶ [Sitio Web]. Pavcowavin.com.co. [Consultado: 18 octubre de 2020]. Disponible en: <
<https://pavcowavin.com.co/manejo-de-aguas-lluvia-aquacell-pavco/>>

¹⁷ [Sitio Web]. Pavcowavin.com.co. [Consultado: 18 octubre de 2020]. Disponible en: <
<https://pavcowavin.com.co/manejo-de-aguas-lluvia-aquacell-pavco/>>

¹⁸ UPME. Hidroenergía. En: Atlas: potencial hidroenergético de Colombia.2015. p. 25.

eléctrica”¹⁹ “El proceso de generación d energía eléctrica se lleva a cabo en una instalación denominada Central Hidroeléctrica que permite el aprovechamiento de las masas de agua en movimiento que fluyen a través de los ríos, para convertirla en energía eléctrica, empleando el acople de turbinas y generadores. Luego el agua regresa al cauce haciéndola apta para el consumo u otros usos”²⁰. “En los casos donde la energía eléctrica suministrada es baja se puede emplear el termino de Pico Central Hidroeléctrica, estas tienen una capacidad instalada entre 0,5 y 5 kW, operan a filo de agua, es decir no se cuenta con un embalse y la energía hidráulica debe aprovecharse en el instante en que se dispone de ella, para poner en marcha las turbinas. Este tipo de centrales son utilizadas en zonas no interconectadas o casos lejanos de zonas interconectadas”²¹.

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

“Existen diversos sistemas que hacen posible almacenar energía eléctrica, uno de los más empleados es el uso de baterías, este sistema maneja procedimientos electroquímicos y tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente casi en su totalidad”²². “El principio de funcionamiento de una batería está basado esencialmente en un proceso reversible llamado reducción-oxidación, donde uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro componente se reduce (gana electrones). Por lo tanto, se trata de un proceso en el que los componentes no se consumen, sino que únicamente cambian su estado de oxidación; por otro lado, dichos componentes pueden retornar a su estado original en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son el cierre del circuito externo durante el proceso de descarga y la aplicación de una corriente externa durante el proceso de carga”²³.

¹⁹ TRUJILLO, Milena. Diseño De Una Pico Central Hidroeléctrica En La Localidad De Usme, Bogotá. p. 23.

²⁰ UPME. Hidroenergía. En: Atlas: potencial hidroenergético de Colombia.2015. p. 26.

²¹ Ibid., p. 28

²² HERNANDEZ, Antonio. Baterías para almacenamiento de energía. En: análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico. P. 45.

²³ Ibid., p. 45

METODOLOGIA

Para estudiar la viabilidad técnica de la modernización del campo se llevará a cabo mediante las siguientes fases metodológicas:

Ilustración 6: Metodología



Fuente: Elaboración Propia

MARCO LEGAL

Tabla 2: Descripción de la normativa

		DESCRIPCIÓN
LEY	373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
	48 de 2017	Implementar e incentivar el establecimiento de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y captación de energía solar en las edificaciones nuevas y preexistentes en el territorio nacional, lo anterior con el propósito de cuidar el recurso hídrico, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la preservación del Medio Ambiente.
	697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
DECRETO	1594 de 1984	Este hace referencia a los usos del agua y residuos líquidos, para caracterización y posible aprovechamiento de la misma.
	2041 de 2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales y se consagra la obligatoriedad de la licencia ambiental para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje.
	1753 de 1994	Construcción de centrales generadoras de energía inferiores o iguales a 100.000 kW de capacidad instalada, así como el tendido de líneas de transmisión o conducción en el área de jurisdicción de la respectiva Corporación Autónoma Regional, no pertenecientes al sistema nacional de interconexión eléctrica
RESOLUCIÓN	2115 de 2007	En esta se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

FUENTE: Elaboración propia

ESTADO DEL ARTE

ANTECEDENTES HISTORICOS

Desde la antigüedad la humanidad ha encontrado las maneras de poder llegar a satisfacer sus necesidades más prioritarias, y uno de los recursos más prioritarios sino acaso el más importante es el agua, para la recolección de estas se han venido implementando distintos modelos o sistemas desde lo más empírico hasta lo más modernizado en la actualidad; en las islas Canarias se encuentra el árbol de Garoe, en donde en su parte superior aparece una nube y el tronco emerge de un pequeño depósito. Representa al Garoé o “árbol de la lluvia”, el que fuera árbol sagrado para los bimbaches; este legendario árbol es de la familia de las Lauráceas, de tales dimensiones que el agua que captaba de la humedad del bosque de Laurisilva donde se enclavaba, bastaba para abastecer a toda la comunidad indígena herreña²⁴.

Ilustración 7: Dibujo anónimo del árbol fuente o Garoé



FUENTE: Darias y Padron, 1988. [Consultado: 18 octubre de 2020]. Disponible en: <
<https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/el-arbol-sagrado-de-la-lluvia.html>>

²⁴ MENDOZA, Blanca Cecilia y CASTAÑEDA, Fredy Rolando. Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2014. Pag. 35

Ya centrándonos en el mundo actual, se está empezando a innovar con la búsqueda de materiales para sistemas que se puedan establecer para el aprovechamiento de las aguas lluvias, tal es el caso de los tipos de mallas, las cuales cuentan con una fabricación y elaboración especial. Con la innovación en estos sistemas se comienzan a realizar los análisis los cuales permitirán relacionar el costo beneficio de la utilización de la niebla como fuente de abastecimiento de agua, es decir se evalúa la parte técnica de la captación de agua.

LOS ATRAPANIEBLAS EN EL MUNDO

En el año 2006 en Guatemala, en la localidad de Tojquia, se instaló el mayor proyecto operacional existente en este país y que se considera un emblema a nivel mundial, debido a que se implementaron 35 unidades de sistemas “Atrapanieblas” operacionales, las cuales son capaces de entregar agua a un total de 27 familias (130 personas), con una producción promedio de 5 L/m²/día (7.000 litros/día)²⁵.

Ilustración 8: Estructuras “Atrapanieblas” instalados en Tojquia a 3300 msnm



FUENTE: Instituto de investigaciones agropecuarias. [Sitio Web]. INIA. [Consultado: 18 octubre de 2020].

²⁵ Instituto de investigaciones agropecuarias. [Sitio Web]. INIA. [Consultado: 18 octubre de 2020]. (Pag. 51). Disponible en: < https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75632_archivo_01.pdf >

En el año 2012, en Chile, en La Aguada, Comuna de Navidad, a 203 m.s.n.m; Región de O'Higgins, se instaló el uso de un neblinómetro estándar (Standard Fog Collector, SFC), el cual fue propuesto por Schemenauer y Cereceda en 1994, el consta de una estructura en marco con un espesor de 1 cm de malla Raschel de 1 metro por 1 metro, el cual está construido de madera o metal no corrosible, la captación de este fue un promedio de 16,12 L/m²/día, lo que equivale a 644,8 litros promedio al día, en una superficie de captación de 40 m²²⁶.

Ilustración 9: Estructura de atrapanieblas instalada en la Aguada a 203 msnm



FUENTE: Instituto de investigaciones agropecuarias. [Sitio Web]. INIA. [Consultado: 18 octubre de 2020].

²⁶ Instituto de investigaciones agropecuarias. [Sitio Web]. INIA. [Consultado: 18 octubre de 2020]. (Pag. 52). Disponible en: < https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75632_archivo_01.pdf >

En la ciudad del sultanato de Omán, se establecieron datos acerca de la implementación de una gran cantidad de sistemas de atrapanieblas los cuales realizaron la recolección o captación de 30 m³/día, aunque cabe mencionar y recalcar que la demanda generada era muy superior a lo que se captaba y por eso este proyecto fue dado por culminado²⁷.

En el continente africano más exactamente en Namibia, se han instalado una serie de atrapanieblas con los que se aprovecha la niebla costera, presenta registros de colección de 1m³/día, en época seca, pero durante los episodios de niebla alcanza los 12m³/día²⁸.

En lo que corresponde a Colombia, en el año 2009, en el valle del cauca más exactamente en Buga, se estableció un proyecto donde se encuentra implicada la fundación Gaiacol y la CVC; se han generado neblinómetros los cuales reportan una captación de 0.0125 m³ diarios, para un área de recolección de malla de 25 m², el agua adquirida es utilizada para tareas agropecuarias en las que se encuentra el mantenimiento de una huerta y la producción de gallinas²⁹.

En la vereda de las Granjas, municipio La Cumbre, en el departamento del Valle del Cauca, la fundación FUNCIPSA implementó un sistema de atrapanieblas, el cual es una propuesta para el fortalecimiento comunitario en la gestión de la calidad del agua, se establecieron 3 modelos, plano, triangular y espiral, en las cuales el plano captaba 0,56 L/día/m², el espiral 0,59 L/día/m² y el triangular 1.12 L/día/m².³⁰

²⁷ MENDOZA, Blanca Cecilia y CASTAÑEDA, Fredy Rolando. Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2014. Pag. 38

²⁸ Ibid. P. 38

²⁹ Ibid. P. 41

³⁰ QUINTERO, Marcela y OCHOA, Camilo. Un sistema atrapanieblas, una propuesta para el fortalecimiento comunitario en la gestión integral del agua.

Para el año 2005 en el departamento del valle del Cauca, municipio de Roldanillo, se llevó la instalación de equipos de captación de aguas lluvias en cuatro sectores, estos con el fin de evaluar la capacidad de recolección, los resultados permitieron establecer una relación favorable entre las zonas con mayor precipitación y la cantidad de agua que se recoge³¹.

En el año 2015 en la ciudad de Bogotá, ubicado en los cerros de la localidad de Chapinero, en la parte baja de la vereda el Verjón, a 3100 msnm, se comenzaron los estudios y ensayos para establecer un sistema de atrapanieblas, debido a la gran cantidad de niebla que cubre en las madrugadas estos sectores, consta de un tanque de 500 litros de capacidad, con el 80% de un agua completamente apta para el consumo humano, se encuentra en la parte alta de la casa, a unos cien pasos de su morada. Un poco más elevado se encuentra el sistema de captación, conformado por dos vigas de madera de aproximadamente 5 metros, una malla Raschel de 50 metros con 60 % de porosidad y una canal de 4 pulgadas. El sistema tuvo costos que oscilaron entre \$1'800.000 y \$3'000.000 y fue costeado en su totalidad por la Alcaldía de Chapinero.

Ilustración 10: Atrapanieblas vereda el Verjón



FUENTE: Gustavo Torrijo; [Sitio Web]. Elespectador.com. [Consultado: 18 octubre de 2020]. Disponible en: < <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/campesinos-de-bogota-cazan-neblina-para-obtener-agua/> >

³¹ MENDOZA, Blanca Cecilia y CASTAÑEDA, Fredy Rolando. Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2014. Pag. 41

En el año 2017, en una vereda del municipio de Chipaque – Cundinamarca, Jonny Umaña estudiante de ingeniería civil de la universidad la Gran Colombia para esa época, creo un dispositivo llamado Nebulón, con mallas que atrapan las gotas de agua suspendidas en el aire para después canalizarla, filtrarla y almacenarla, 100% apto para el consumo humano y actividades agrícolas.

Este dispositivo posee 4 m² y puede llegar a recolectar 28 litros de agua al día, lo que equivale a 840 al mes y 10.220 al año, sin generar ningún daño ambiental. Existen dos prototipos de estos instalados: uno se encuentra en el municipio de la Belleza – Santander y el otro en Chipaque – Cundinamarca. Según informa el estudiante entre más baja sea la altitud se puede obtener más cantidad de agua porque la niebla es más densa. Se calculó que el costo de cada prototipo puede estar entre los \$450.000 y \$466.000.

Ilustración 11: Nebulón - sistema de atrapanieblas - Chipaque, Cundinamarca



FUENTE: Seis sueños de emprendimiento para transformar el país, En: El Tiempo. Bogotá D.C. 6, abril, 2018.

En 2014 se lleva a cabo el análisis de la tecnología apropiada para la disposición de aguas lluvias para el parque industrial santo domingo del municipio de Mosquera – Cundinamarca, donde uno de los sistemas estudiados son las celdas Aquacell (Wavin- Pavco) donde este obtuvo una gran puntuación, lo que lo hizo viable para usarse.³²

En 2016 el sistema de Aquacell fue implementado en la construcción del centro comercial Parque La colina, donde este permitiría el ahorro de cerca del 40% del agua destinada a los servicios sanitarios, en la instalación de este sistema se utilizaron cerca de 1900 unidades de celdas.³³

En el mismo año (2016) se realiza el diseño para alcantarillado pluvial existente del barrio el recodo de Fontibón (Bogotá) mediante el uso de aquacell para el control de inundaciones en las calles y algunos conjuntos residenciales.³⁴

Este sistema también fue empleado en 2016 en el colegio las Mercedes, en Bogotá, este proyecto utilizó el sistema para recoger las aguas lluvias que colectan las cubiertas y algunas zonas sociales del colegio, para evitar los problemas de inundación y encharcamiento en el que estaban sometidas las zonas verdes de la institución.³⁵

PICOCENTRALES HIDROELECTRICAS

En el año 2013 se desarrolla el diseño de una pequeña central hidroeléctrica a escala laboratorio utilizando aguas lluvias del bloque A de la universidad libre sede bosque popular, además este sistema sería un modelo didáctico para algunas

³² CALLE, Yair; ARCHILA, Omar y VARGAS, Mario. Análisis De La Tecnología Apropiada Para La Disposición De Aguas Lluvias. Caso De Estudio Parque Industrial Santo Domingo Del Municipio De Mosquera – Cundinamarca. Trabajo de grado. Especialización En Recursos Hídricos. Bogotá D.C. Universidad Católica De Colombia. 2014. 66p.

³³ Pavco Wavin Colombia. (2016, junio 10). Pavco Wavin instaló el sistema Aquacell en el Parque la Colina [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=qqE5lbzmXME>

³⁴ GOMEZ, Rubén; LOPEZ, Roosbelth y SANCHEZ, Andrés. Diseño De Pondaje Para Alcantarillado Pluvial Existente Del Barrio El Recodo De Fontibón (Bogotá) Mediante Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible Por Depósitos De Retención (SUDS). Trabajo de grado. Ingeniería Civil. Bogotá D.C. Universidad La Gran Colombia. 2016. 83p.

³⁵ Ibid. p. 16.

prácticas del programa de ingeniería ambiental, dentro del diseño, se plasmó la conexión de tuberías del sistema de captación con los baños, así se lograría disminuir el consumo de agua potable dentro de las instalaciones de la universidad.³⁶

Por otro lado, en el año 2017 se lleva a cabo la factibilidad de la implementación de una Pico Central Hidroeléctrica (PCH) en la zona rural de Usme, con la captación de agua de la Quebrada Fucha, allí se llevaron a cabo actividades como, análisis y verificación de datos de caudal y altura topográfica de la zona, selección de los sistemas adecuados para generar la eficiencia correspondiente, realización de diseño y calculo tanto del sistema hidráulico como del sistema energético.³⁷

Así mismo en el año 2017 se realiza el proceso cualitativo y cuantitativo del desarrollo de la ingeniería conceptual de una Pequeña Central Hidráulica, para el municipio de Pisba Boyacá, con el objeto de abastecer la demanda de energía eléctrica del municipio en caso de que se presente ausencia del servicio por parte de la red eléctrica actual.³⁸

En este mismo año (2017) se presenta el diseño de una Pico central Hidroeléctrica (PCH) que aprovecha la corriente del río San Juan (Chocó, Colombia) para producir electricidad en la vereda El Salado o Salao, la cual se encuentra alejada de la red de interconexión nacional.³⁹

Anteriormente se muestran alguno de los proyectos realizaos para Colombia, pero no solo en este país se han venido implementando las pequeñas centrales

³⁶ ESPITIA, Silvia Stefanny. Diseño De Una Pequeña Central Hidroeléctrica A Escala Laboratorio Utilizando Aguas Lluvias Del Bloque A De La Universidad Libre, Sede Bosque Popular. Trabajo de grado. Ingeniería ambiental. Bogotá D.C. Universidad libre de Colombia.2013. 106p.

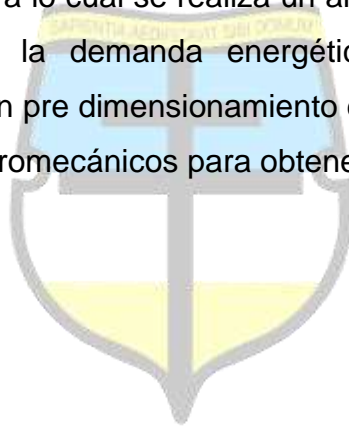
³⁷ TRUJILLO, Milena. Diseño De Una Pico Central Hidroeléctrica En La Localidad De Usme, Bogotá. Trabajo de grado. Ingeniería civil. Bogotá. D.C. Universidad Católica de Colombia. 2017. 133p.

³⁸ MORALES, Carlos y SAAVEDRA, Fabian. Diseño De Una Pequeña Central Hidroeléctrica Para El Municipio De Pisba, Boyacá. Trabajo de grado. Ingeniería Electromecánica. Duitama, Boyacá. Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia. 2017. 128p.

³⁹ MARTINEZ, Christian y MOSQUERA, Yeirson. Diseño De Una Picocentral Hidroeléctrica (PCH) Impulsada Por La Potencia Hidráulica Del Río San Juan En La Vereda Salao (Medio San Juan, Chocó, Colombia). Trabajo De Grado. Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 2017. 247p.

hidroeléctricas, algunos casos por ejemplo es Ecuador, que en 2009 diseño y construyo una Picocentral hidroeléctrica utilizando una turbina Michell Banki en el sector de las Carmelitas del Cantón Tena, esto con el objetivo de suplir el alumbrado y el funcionamiento de un pequeño taller industrial.⁴⁰

Otro caso fuera de Colombia se presentó en Perú en 2014 cuando se llevó a cabo un proyecto que buscaba demostrar la viabilidad de una pequeña central Hidroeléctrica en el pueblo de Comas, en la provincia de Concepción del departamento de Junín, para lo cual se realiza un análisis tanto de la demanda del recurso hídrico como de la demanda energética de la zona, con lo que posteriormente se realiza un pre dimensionamiento de las estructuras hidráulicas y de los demás equipos electromecánicos para obtener un presupuesto.⁴¹



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

⁴⁰ LANDA, Freddy y LLANGANATE Luis. Diseño Y Construcción De Una Pico Central Hidroeléctrica Utilizando Una Turbina Michel Banky Para Generación Eléctrica En El Sector De Las Carmelitas Del Cantón Tena. Trabajo De Grado. Ingeniería Electromecánica. Latacunga, Ecuador. Escuela Politécnica Del Ejercito. 2009. 151p.

⁴¹ CANCHAYA, Christopher y CHERO, Luis. Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de concepción perteneciente al departamento de Junín. Trabajo de grado. Ingeniería civil. Lima, Perú. Universidad peruana de ciencias aplicadas. 2014. 112p.

CARACTERIZACION DE LA ZONA

Para la realización de este estudio de viabilidad se va a trabajar en el municipio de Macanal en el departamento de Boyacá.

Ubicación geográfica del municipio de Macanal:



Ilustración 12: MACANAL - BOYACA

FUENTE: [Sitio Web]. Googlemaps. [Consultado: 28 de febrero de 2021].

El municipio de Macanal se encuentra ubicado sobre el Vallé del Tenza, a un costado de la represa de Chivor, siendo parte de la provincia de Neira, está a una distancia de Bogota de 145 km, y de la capital departamental Tunja a 105 km.

DESCRIPCIÓN FÍSICA		
EXTENSION	19950	Ha
ALTITUD CABECERA MUNICIPAL	1700	msnm
TEMPERATURA PROMEDIO	20	°C
PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL	2298	mm
DIVISIÓN ADMINISTRATIVA	19	Veredas

FUENTE: Elaboración propia

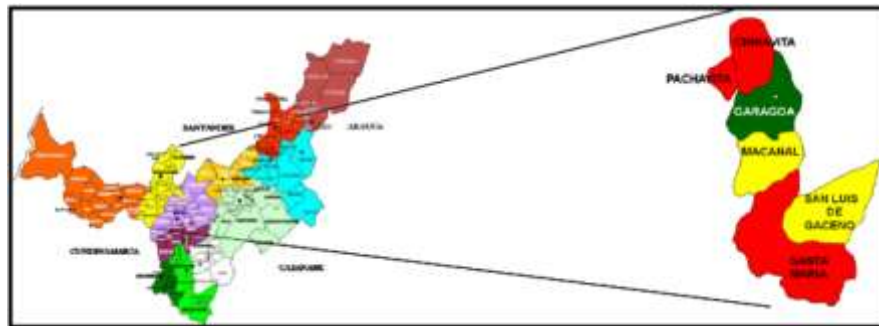
ACTIVIDAD AGRICOLA:

El municipio de Macanal se caracteriza por presentar grandes extensiones

dedicadas a la producción de pasto extensivo para la producción de ganado, en el cual la gran mayoría presenta ganado de doble utilidad como las razas Normando, Pardo Suizo y Cebú. En estos sectores los cultivos principales son el café, plátano, maíz, frijol, yuca, aguacates, cítricos, entre otros.

HIDROGRAFIA:

Macanal hace parte de la cuenca del rio Garagoa, con la compañía de otros 25 municipios los cuales pertenecen a la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Chivor CORPOCHIVOR.



FUENTE: EOT Municipio de Macanal [Consultado: 28 de febrero de 2021]

FINCA VELASQUEZ:

Ilustración 13: Finca Velásquez



Fuente: Google Earth. Finca Velásquez [En línea]

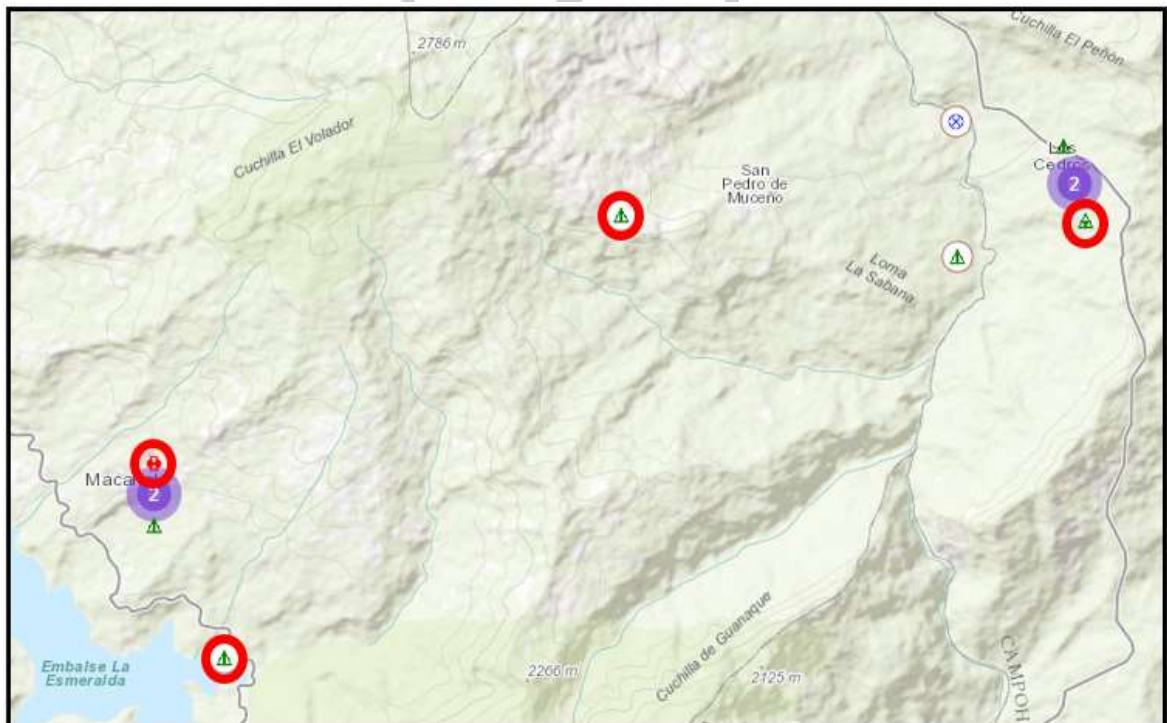
La finca se encuentra ubicada en la vereda Agua Blanca, cuenta con un área de 35,359 m² y se encuentra a una altitud media de 1800 msnm.

ANALISIS HIDROLOGICO

Para la realización del análisis hidrológico, se evidencio que la vereda Agua Blanca, no cuenta como tal con alguna estación meteorológica, en donde podamos establecer el comportamiento climático de este sector, por consiguiente, se pasó a trabajar con información de estaciones cercanas a este sector siendo propiedad de Ideam o de Copochivor.



Ilustración 14: Ubicación estaciones meteorológicas



FUENTE: [Sitio Web]. <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion> [Consultado: 28 de febrero de 2021].

Tabla 3: Estaciones Meteorológicas

CATALOGO DE ESTACIONES				
NOMBRE	CODIGO	CATEGORIA	ALTITUD	ESTADO
Alto Muceno	35080110	Pluviometrica	2250	Activa
La Esperanza	35070480	Pluviografica	1854	Activa
Los Cedros	35080060	Pluviometrica	1600	Activa
Instituto Agrícola Macanal	35075040	Climatica Principal	1300	Activa
Quebrada Honda	35070130	Pluviometrica	1200	Activa
Los Cedros	35087040	Limnimétrica	1218	Activa

Fuente: Propia

Una vez establecidas las estaciones meteorológicas a trabajar, se hizo el requerimiento de datos al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales "IDEAM"; una vez recibido los datos, estos fueron ordenados y se hizo el relleno de datos faltantes.

Para la estimación y relleno de los datos faltantes se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_x = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{N_x}{N_i} \right) * (P_i) + \left(\frac{N_x}{N_{i+1}} \right) * (P_{i+1}) + \left(\frac{N_x}{N_n} \right) * (P_n) \right]$$

Tabla 4: Precipitaciones Estación quebrada Honda

ESTACION QUEBRADA HONDA (35070130)													
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (PTPM) mm													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	PROMEDIO
2000	15,50	24,93	26,93	37,37	119,48	119,73	107,19	114,29	65,70	53,54	32,40	25,30	61,86
2001	8,84	18,64	22,58	70,90	104,35	103,90	91,74	88,22	74,73	34,61	45,43	24,90	57,40
2002	6,70	8,46	33,64	56,40	71,97	90,03	116,80	110,45	63,03	42,71	12,10	6,88	51,60
2003	7,58	7,64	33,90	67,63	78,00	92,63	87,45	82,22	48,23	13,32	53,46	23,00	49,59
2004	3,25	29,48	25,87	42,53	119,87	140,60	106,12	80,00	53,06	54,48	37,53	9,90	58,56
2005	14,97	35,03	36,35	75,43	113,55	77,67	62,65	78,26	97,80	64,09	21,55	9,09	57,20
2006	11,00	2,50	34,74	88,50	54,55	140,83	81,23	52,00	19,80	42,74	16,06	1,78	45,48
2007	1,32	16,75	31,35	27,20	73,26	95,76	32,39	69,22	58,27	18,00	23,60	3,00	37,51
2008	4,52	3,62	15,09	15,43	80,87	115,20	67,84	22,81	72,20	60,81	25,71	5,41	40,79
2009	7,57	3,93	13,65	33,13	35,03	26,70	34,72	37,91	19,74	4,68	2,70	0,90	18,39
2010	0,42	12,82	19,68	16,21	18,52	35,77	39,61	25,94	28,06	20,48	24,60	13,52	21,30
2011	0,55	2,07	17,42	26,43	34,39	30,23	12,77	17,77	30,10	18,45	33,20	8,10	19,29
2012	1,81	9,24	22,42	48,63	53,39	55,57	71,65	51,32	31,23	24,90	8,37	7,13	32,14
2013	0,98	10,21	18,97	14,70	53,81	29,30	47,16	35,94	45,67	29,52	30,77	14,16	27,60
2014	5,65	16,92	10,45	87,60	41,65	68,27	77,29	58,09	34,23	25,81	22,13	9,48	38,13
2015	18,97	5,75	9,23	74,43	43,90	146,20	60,00	39,97	38,40	15,32	22,33	44,06	43,21
2016	0,74	1,28	14,94	55,63	66,55	75,43	68,94	59,23	54,43	28,87	14,43	14,48	37,91
2017	7,74	0,68	24,94	20,10	28,42	35,30	50,16	33,29	29,33	23,87	17,33	4,61	22,98
2018	3,09	0,36	21,19	26,77	41,77	60,33	54,06	42,03	23,33	17,09	8,00	0,94	24,91
2019	2,35	0,11	8,97	30,20	39,42	53,00	45,03	61,87	42,80	30,13	12,47	3,29	27,47
2020	4,42	3,89	23,68	16,84	33,06	66,13	54,06	30,35	26,10	23,42	20,33	2,84	25,43
													38,04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Precipitaciones estación la Esperanza

ESTACION LA ESPERANZA (35070480)													
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (PTPM) mm													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	PROMEDIO
2000	1,15	12,03	22,45	18,47	53,06	32,83	56,61	65,71	47,83	20,61	29,87	13,13	31,15
2001	0,16	5,71	9,29	19,73	35,03	37,13	45,06	38,71	40,77	15,74	39,10	11,94	24,86
2002	3,39	4,57	10,58	43,10	47,81	33,87	43,19	63,16	38,77	21,74	10,57	2,63	26,95
2003	0,19	4,86	20,26	31,27	44,26	57,13	61,19	42,13	18,76	9,12	16,42	6,01	25,97
2004	0,89	8,31	11,66	18,59	47,37	58,56	61,74	48,97	25,27	33,58	13,57	10,84	28,28
2005	7,03	17,14	0,87	34,87	21,03	17,83	8,32	25,71	30,19	24,98	33,87	0,84	18,56
2006	5,23	0,25	17,17	23,43	23,42	42,20	24,94	24,87		36,16	14,30	14,71	20,61
2007	0,13	3,68	18,74	20,23	27,52	66,00	16,74	17,93	21,56	14,04	10,19	3,16	18,33
2008	2,71	3,76	6,13	8,13	26,39	52,24	34,87	33,09	26,60	15,80	22,57	6,03	19,86
2009	5,45	10,57	12,97	20,97	16,97	29,07	26,16	30,87	13,80	14,35	15,53	1,03	16,48
2010	1,00	10,61	24,90	27,53	40,29	23,79	45,77	18,84	9,00	40,32	21,47	12,94	23,04
2011	2,09	12,54	20,09	47,17	43,23	35,74	20,42	27,26	17,37	28,39	37,53	12,26	25,34
2012	3,45	7,45	19,55	31,73	19,48	22,46	34,16	26,79	13,63	17,58	17,10	4,45	18,15
2013	0,81	5,96	17,52	20,97	29,77	16,76	33,19	31,45	14,43	12,32	32,13	3,97	18,27
2014	0,45	13,00	7,42	15,53	19,52	42,33	19,77	22,87	22,93	9,65	12,57	11,81	16,49
2015	4,35	2,57	9,13	30,57	17,55	63,67	21,74	22,68	15,97	6,42	14,53	6,19	17,95
2016	0,07	2,34	12,77	43,33	21,61	25,03	44,77	19,94	9,46	27,16	18,63	10,35	19,62
2017	8,52	9,93	18,06	19,40	40,35	30,40	45,71	31,45	18,20	35,35	12,63	4,48	22,87
2018	10,81	7,64	16,06	56,23	45,26	43,87	48,94	51,61	22,50	18,23	10,50	0,42	27,67
2019	4,77	3,96	3,87	41,96	35,94	65,76	43,16	50,13	28,70	12,97	18,23	8,90	26,53
2020	6,00	12,21	19,03	23,16	34,68	35,47	34,42	12,29	26,83	20,65	7,36	0,55	19,39
													22,21

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6: Precipitaciones estación Alto Muceno

ESTACION ALTO MUCENO (35080110)													
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (PTPM) mm													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	PROMEDIO
2000	5,52	6,52	8,19	26,07	55,06	98,36	94,48	108,58	65,40	49,06	24,63	12,42	46,19
2001	0,77	1,68	25,74	25,93	65,94	77,07	61,42	98,48	54,83	17,13	29,43	23,61	40,17
2002	3,16	9,36	25,65	62,40	80,39	69,50	75,87	101,65	41,06	35,48	32,96	2,55	45,00
2003	0,45	5,71	32,09	44,66	66,06	47,93	73,97	75,16	39,36	19,65	19,40	6,68	35,93
2004	1,50	7,35	27,40	41,16	92,80	125,10	32,06	58,13	55,60	47,20	18,70	13,52	43,38
2005	8,58	35,64	9,16	96,73	89,26	46,63	58,10	48,80	48,40	44,23	25,70	2,48	42,81
2006	27,13	4,18	30,23	69,43	63,90	116,46	57,42	44,26	52,46	34,93	11,10	10,83	43,53
2007	0,16	4,11	9,61	42,80	51,13	57,76	27,22	63,19	37,56	38,03	17,33	10,03	29,91
2008	5,19	4,89	5,74	17,80	30,93	64,66	70,61	22,03	30,16	21,48	28,03	6,58	25,68
2009	14,84	2,86	7,68	8,56	20,55	23,76	38,52	20,19	9,06	41,39	8,66	4,03	16,68
2010	0,00	2,29	17,55	50,83	51,61	28,80	52,87	37,90	23,36	14,42	14,60	30,65	27,07
2011	1,00	11,89	24,06	22,33	34,42	50,30	43,06	63,33	31,83	52,45	30,76	22,23	32,31
2012	2,94	8,83	22,16	35,80	54,13	39,96	73,00	75,61	57,30	45,94	6,00	22,87	37,05
2013	1,39	4,61	16,87	49,56	50,32	39,83	43,43	79,58	33,58	13,09	35,56	7,48	31,28
2014	3,61	3,46	5,32	20,50	29,22	98,04	28,35	73,88	32,43	33,13	9,96	22,48	30,03
2015	6,42	7,39	9,45	24,70	34,06	45,90	42,84	52,46	14,20	18,22	49,69	8,81	26,18
2016	2,77	7,03	10,35	30,66	75,00	37,30	49,65	40,03	35,07	25,97	20,23	12,48	28,88
2017	7,68	11,25	17,87	18,53	46,58	52,30	48,68	22,84	30,57	30,23	36,23	11,97	27,89
2018	15,23	8,39	12,97	19,00	34,90	38,70	43,52	40,90	38,21	12,65	9,57	3,83	23,16
2019	0,39	1,43	9,90	11,93	11,93	23,55	32,60	39,14	27,63	43,23	27,26	3,00	19,33
2020	4,22	7,14	2,45	19,70	51,77	19,70	85,13	20,74	27,73	53,56	11,42	3,48	25,59
													32,29

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Precipitaciones estación agrícola Macanal

ESTACION INSTITUCION AGRICOLA MACANAL													
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (PTPM) mm													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	PROMEDIO
2000	4,29	17,83	18,26	43,70	86,06	66,23	97,77	101,29	67,20	39,32	27,23	21,23	49,20
2001	4,84	5,89	20,94	58,87	77,81	82,07	63,55	84,03	49,57	29,10	44,57	21,77	45,25
2002	3,87	2,57	29,87	59,00	66,19	105,17	96,10	129,84	68,97	31,90	21,83	11,19	52,21
2003	13,65	2,50	38,58	48,10	103,19	93,90	76,74	68,97	39,40	31,77	43,67	12,26	47,73
2004	1,26	23,76	28,13	47,50	124,94	146,13	86,58	89,74	57,43	36,87	30,17	10,32	56,90
2005	11,94	29,39	13,58	53,80	131,06	59,03	67,23	56,77	65,30	68,97	24,03	4,35	48,79
2006	15,80	4,39	56,16	71,07	61,48	141,93	85,23	74,35	35,55	39,90	19,83	17,06	51,90
2007	1,29	18,18	29,35	67,70	59,39	109,23	47,00	64,97	56,40	42,03	32,57	8,68	44,73
2008	5,84	4,69	14,84	24,27	66,90	114,70	86,39	42,94	48,30	43,68	42,20	5,16	41,66
2009	5,32	2,57	25,39	32,20	31,19	116,27	66,55	100,09	48,00	37,70	12,03	4,87	40,18
2010	0,80	9,54	51,74	48,63	71,74	62,73	72,55	42,61	31,28	30,74	59,03	25,77	42,26
2011	3,87	7,18	40,29	59,30	68,87	72,27	43,39	67,06	95,27	33,52	30,20	15,52	44,73
2012	4,97	18,38	52,23	65,43	97,55	109,77	130,87	119,16	43,47	47,19	30,17	18,65	61,49
2013	1,58	9,96	20,58	29,10	77,09	57,97	83,29	93,29	46,83	22,74	37,47	10,45	40,86
2014	3,48	11,75	15,45	86,87	43,61	117,43	118,39	63,35	72,50	35,32	25,80	20,06	51,17
2015	20,42	6,18	13,39	74,63	63,68	147,87	133,35	88,19	49,07	26,00	36,30	34,09	57,76
2016	0,61	11,86	47,09	93,37	131,65	137,97	110,51	92,58	105,90	44,26	32,87	21,07	69,15
2017	24,83	10,50	46,58	35,03	73,74	102,73	96,71	64,19	67,43	39,09	35,63	22,58	51,59
2018	13,35	4,54	33,19	81,67	91,90	117,37	101,13	92,32	60,90	32,39	9,00	7,86	53,80
2019	5,24	1,32	20,03	32,83	58,45	99,17	103,39	89,81	44,17	50,87	23,50	19,13	45,66
2020	5,55	10,38	36,73	61,57	71,37	68,67	73,29	40,94	37,83	42,32	22,30	8,26	39,93
													49,38

Fuente: Elaboración Propia

POLIGONOS DE THIESSEN:

Para identificar la precipitación media del sector, se realizó mediante la metodología de los polígonos Thiessen, con la ayuda del software Google Earth se identificaron las 4 estaciones cercanas a la zona y se realizó su respectivo análisis:

Ilustración 15: Ubicación estaciones meteorológicas



Fuente: Google Earth. [En línea]

Una vez identificada la zona y la ubicación de cada una de las cuatro estaciones se pasó a realizar el respectivo trazado de las líneas para unir cada una de las estaciones sin que ocurra entrecruzamientos entre las mismas:

Ilustración 16: Trazado de las estaciones



Fuente: Google Earth. [En línea]

El paso siguiente consiste en trazar la mediatriz perpendicular para cada uno de los bordes de los triángulos, las cuales nos van a arrojar los polígonos que corresponden a cada una de las estaciones:

Ilustración 17: Mediatrices



Fuente: Google Earth. [En línea]

Una vez determinados los polígonos dentro de la zona que abarcan las 4 estaciones, pasamos a determinar el área correspondiente a cada uno de los polígonos y también se identifica por medio de los datos de precipitación vistos anteriormente cual es la descarga de lluvia en “mm” para cada una de estos:

Ilustración 18: Polígonos de Thiessen



Fuente: Google Earth. [En línea]

Tabla 8: Áreas y precipitaciones de los polígonos

Estación	Área (Km ²)	Precipitación (mm)	Área * Precip.
INST. AGRICOLA MACANAL	6,10	49,38	301,21
QUEBRADA HONDA	7,79	38,04	296,30
ALTO MUCENO	10,30	32,29	332,55
LA ESPERANZA	3,66	22,21	81,28
Σ	27,85	Σ	1011,34

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la precipitación media de la zona por medio de los polígonos de Thiessen se utilizó la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sum A * P}{\sum \text{areas totales}} \quad P = \frac{1011,34 \text{ mm/km}^2}{27,85 \text{ km}^2}$$

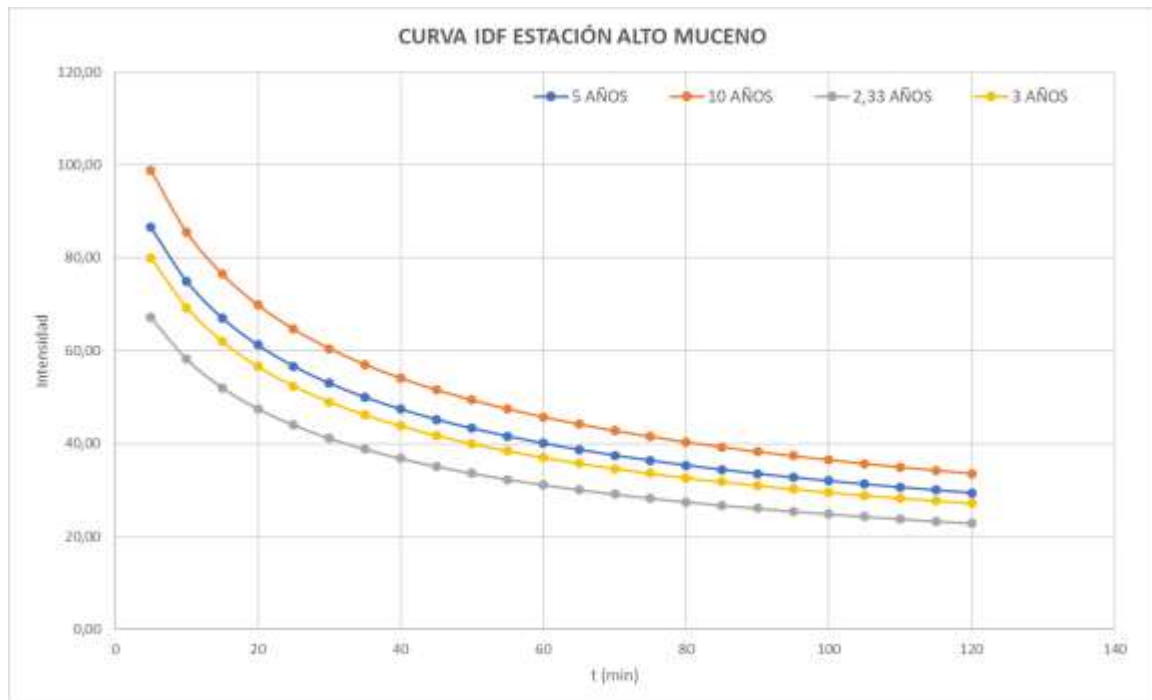
Precipitación media
36,31 mm

Debido a la que finca se encuentra abarcada por un solo polígono perteneciente a la estación Alto Muceno se empleara solo la información perteneciente a dicha estación.

CURVA IDF ESTACIÓN ALTO MUCENO:

Para la elaboración de las curvas de nivel se tienen en cuenta diferentes periodos de retorno (2.33, 3, 5 y 10 años).

Grafica 1: Curva IDF estación Alto Muceno



Según los resultados obtenidos en la gráfica IDF, para nuestro periodo de retorno de 3 años se logra evidenciar una intensidad de 80 mm/h como la máxima esperada en 2 horas de lluvia.

Con la metodología de los bloques alternos y a partir de los datos arrojados por las curvas IDF, se representa la distribución de precipitaciones para cierta serie de intervalos los cuales son generados a lo largo de un periodo de duración de una lluvia, obteniendo un hietograma de tormenta donde se puede evidenciar en qué momento del tiempo de lluvia se presenta la mayor cantidad de precipitación:

Tabla 9: Método de bloques alternos

HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO																				
METODO DE BLOQUES ALTERNOS																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center; background-color: #d9ead3;">PERIODO DE RETORNO</td> </tr> <tr> <td colspan="7" style="text-align: center;">3</td> </tr> </table>							PERIODO DE RETORNO							3						
PERIODO DE RETORNO																				
3																				
DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/h)	PROFUNDIDAD ACUMULADA (mm)	PROFUNDIDAD INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)		PRECIPITACIÓN (mm)														
5	79,99	6,67	6,67	0	5	1,26														
10	69,27	11,54	4,88	5	10	1,33														
15	61,96	15,49	3,94	10	15	1,40														
20	56,56	18,85	3,36	15	20	1,49														
25	52,36	21,82	2,97	20	25	1,59														
30	48,98	24,49	2,67	25	30	1,73														
35	46,18	26,94	2,45	30	35	1,89														
40	43,81	29,21	2,27	35	40	2,12														
45	41,77	31,33	2,12	40	45	2,45														
50	39,99	33,33	2,00	45	50	2,97														
55	38,42	35,22	1,89	50	55	3,94														
60	37,03	37,03	1,80	55	60	6,67														
65	35,77	38,75	1,73	60	65	4,88														
70	34,63	40,41	1,66	65	70	3,36														
75	33,60	42,00	1,59	70	75	2,67														
80	32,65	43,54	1,54	75	80	2,27														
85	31,78	45,03	1,49	80	85	2,00														
90	30,98	46,47	1,44	85	90	1,80														
95	30,23	47,87	1,40	90	95	1,66														
100	29,54	49,23	1,36	95	100	1,54														
105	28,89	50,55	1,33	100	105	1,44														
110	28,28	51,84	1,29	105	110	1,36														
115	27,71	53,11	1,26	110	115	1,29														
120	27,17	54,34	1,23	115	120	1,23														

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 19: Hietograma de diseño



Fuente: Elaboración Propia

BALANCE HIDRICO

Para el diseño del balance hídrico se debe obtener datos de precipitación, evapotranspiración, y temperatura de la zona, estos datos fueron entregados por el IDEAM y los cuales se presentan a continuación:

Tabla 10: Precipitaciones estación Alto Muceno

ESTACION ALTO MUCENO (35080110) EST. 3														
PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL (PTPM) mm														
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR MAYOR ANUAL	PROMEDIO
2000	5,52	6,52	8,19	26,07	55,06	98,36	94,48	108,58	65,40	49,06	24,63	12,42	108,58	46,19
2001	0,77	1,68	25,74	25,93	65,94	77,07	61,42	98,48	54,83	17,13	29,43	23,61	98,48	40,17
2002	3,16	9,36	25,65	62,40	80,39	69,50	75,87	101,65	41,06	35,48	32,96	2,55	101,65	45,00
2003	0,45	5,71	32,09	44,66	66,06	47,93	73,97	75,16	39,36	19,65	19,40	6,68	75,16	35,93
2004	1,50	7,35	27,40	41,16	92,80	125,10	32,06	58,13	55,60	47,20	18,70	13,52	125,10	43,38
2005	8,58	35,64	9,16	96,73	89,26	46,63	58,10	48,80	48,40	44,23	25,70	2,48	96,73	42,81
2006	27,13	4,18	30,23	69,43	63,90	116,46	57,42	44,26	52,46	34,93	11,10	10,83	116,46	43,53
2007	0,16	4,11	9,61	42,80	51,13	57,76	27,22	63,19	37,56	38,03	17,33	10,03	63,19	29,91
2008	5,19	4,89	5,74	17,80	30,93	64,66	70,61	22,03	30,16	21,48	28,03	6,58	70,61	25,68
2009	14,84	2,86	7,68	8,56	20,55	23,76	38,52	20,19	9,06	41,39	8,66	4,03	41,39	16,68
2010	0,00	2,29	17,55	50,83	51,61	28,80	52,87	37,90	23,36	14,42	14,60	30,65	52,87	27,07
2011	1,00	11,89	24,06	22,33	34,42	50,30	43,06	63,33	31,83	52,45	30,76	22,23	63,33	32,31
2012	2,94	8,83	22,16	35,80	54,13	39,96	73,00	75,61	57,30	45,94	6,00	22,87	75,61	37,05
2013	1,39	4,61	16,87	49,56	50,32	39,83	43,43	79,58	33,58	13,09	35,56	7,48	79,58	31,28
2014	3,61	3,46	5,32	20,50	29,22	98,04	28,35	73,88	32,43	33,13	9,96	22,48	98,04	30,03
2015	6,42	7,39	9,45	24,70	34,06	45,90	42,84	52,46	14,20	18,22	49,69	8,81	52,46	26,18
2016	2,77	7,03	10,35	30,66	75,00	37,30	49,65	40,03	35,07	25,97	20,23	12,48	75,00	28,88
2017	7,68	11,25	17,87	18,53	46,58	52,30	48,68	22,84	30,57	30,23	36,23	11,97	52,30	27,89
2018	15,23	8,39	12,97	19,00	34,90	38,70	43,52	40,90	38,21	12,65	9,57	3,83	43,52	23,16
2019	0,39	1,43	9,90	11,93	11,93	23,55	32,60	39,14	27,63	43,23	27,26	3,00	43,23	19,33
2020	4,22	7,14	2,45	19,70	51,77	19,70	85,13	20,74	27,73	53,56	11,42	3,48	85,13	25,59
	27,13	35,64	32,09	96,73	92,80	125,10	94,48	108,58	65,40	53,56	49,69	30,65	125,10	32,29

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Datos de Temperatura

ESTACION ALTO MUCENO (35080110) EST. 3														
TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL (TPM) °C														
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR MAYOR ANUAL	PROMEDIO
2000	13,06	10,74	17,15	15,47	13,97	13,86	13,53	13,82	14,81	16,46	15,99	15,06	17,15	14,49
2001	16,01	16,04	17,92	16,28	17,33	14,47	12,80	15,22	13,94	14,02	15,88	16,34	17,92	15,52
2002	18,57	17,05	16,57	14,10	15,68	14,24	15,72	14,93	15,47	15,68	13,28	15,91	18,57	15,60
2003	13,88	15,08	14,69	10,99	12,78	13,10	14,79	12,41	15,85	16,72	16,40	14,15	16,72	14,24
2004	15,22	16,95	16,38	15,55	15,76	11,45	14,94	13,97	11,46	15,48	12,81	15,90	16,95	14,66
2005	14,95	14,66	14,49	14,07	18,38	13,96	14,22	13,53	16,91	15,21	16,73	14,76	18,38	15,16
2006	17,25	16,14	16,15	15,76	16,21	16,65	14,17	16,35	16,34	14,08	15,49	15,67	17,25	15,86
2007	18,74	20,04	16,08	15,99	15,54	14,48	17,31	16,53	15,57	17,98	15,79	14,15	20,04	16,52
2008	17,92	17,50	14,05	17,43	15,26	14,86	12,98	15,46	16,36	14,45	15,38	15,86	17,92	15,63
2009	15,56	15,75	16,25	15,92	18,33	13,93	12,16	16,32	12,04	16,34	17,65	15,96	18,33	15,52
2010	19,11	18,27	16,77	12,56	16,40	14,19	17,20	18,26	14,04	18,82	18,55	17,00	19,11	16,76
2011	17,83	19,53	18,37	14,96	15,83	15,29	14,22	18,98	14,96	15,58	16,75	17,42	19,53	16,64
2012	18,17	11,51	18,09	16,86	13,38	16,82	15,84	15,72	15,66	17,99	18,68	21,18	21,18	16,66
2013	20,55	18,43	18,38	18,22	16,33	18,77	15,48	14,33	15,78	15,14	18,13	17,86	20,55	17,28
2014	17,87	19,13	16,86	16,75	17,16	15,56	16,27	15,22	16,21	16,50	16,18	16,22	19,13	16,66
2015	16,50	16,32	16,44	17,23	16,28	15,19	16,55	16,33	17,28	16,44	16,55	17,19	17,28	16,52
2016	12,47	16,83	18,25	15,97	16,24	15,04	13,85	14,51	17,51	17,96	16,75	18,87	18,87	16,19
2017	16,37	18,53	16,02	17,62	16,10	18,50	13,40	18,25	15,14	17,78	18,65	17,59	18,65	17,00
2018	18,70	17,20	18,66	16,13	15,40	15,21	14,29	15,81	17,76	18,02	19,06	16,96	19,06	16,93
2019	18,81	20,27	16,04	19,31	19,30	15,06	16,40	14,19	16,53	16,39	16,68	16,58	20,27	17,13
2020	18,19	15,78	18,43	15,32	16,31	19,73	17,71	17,82	17,25	17,56	15,60	18,85	19,73	17,38
	20,55	20,27	18,66	19,31	19,30	19,73	17,71	18,98	17,76	18,82	19,06	21,18	21,18	16,11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Datos de evapotranspiración

ESTACION ALTO MUCENO (35080110) EST. 3														
EVAPOTRANSPIRACION														
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR MAYOR ANUAL	PROMEDIO
2000	43,79	30,08	41,41	33,25	28,31	21,57	28,56	24,68	35,52	33,07	29,30	23,44	43,79	31,08
2001	41,97	34,82	29,55	21,73	23,48	21,26	21,67	17,73	25,83	27,00	30,30	25,54	41,97	26,74
2002	32,06	38,04	29,65	22,45	25,50	18,00	21,81	23,30	26,80	29,32	20,10	29,51	38,04	26,38
2003	36,54	26,07	27,74	26,32	22,79	23,57	18,83	21,72	24,22	28,53	25,76	27,78	36,54	25,82
2004	34,19	38,07	26,87	22,90	22,31	18,46	20,58	20,48	28,40	30,61	25,70	26,00	38,07	26,21
2005	30,22	31,17	31,93	17,47	28,55	21,63	19,32	18,13	21,53	30,45	30,23	32,06	32,06	26,06
2006	25,00	34,32	24,93	22,63	24,77	20,04	20,86	22,57	32,22	32,37	28,00	25,71	34,32	26,12
2007	31,72	44,12	20,29	28,20	21,47	15,27	21,80	23,32	24,67	28,00	24,70	30,13	44,12	26,14
2008	32,53	29,62	30,23	25,10	20,80	20,22	20,07	21,38	30,37	26,93	28,33	32,32	32,53	26,49
2009	26,46	33,14	28,77	24,51	25,87	20,55	16,20	22,25	31,26	35,28	31,00	29,19	35,28	27,04
2010	44,42	47,07	41,92	32,90	24,85	24,14	25,50	26,92	28,53	34,20	29,07	29,48	47,07	32,42
2011	35,60	32,00	53,60	49,05	19,56	28,72	19,26	28,96	29,29	33,62	32,03	27,56	53,60	32,44
2012	30,07	36,27	22,25	25,74	22,32	19,37	23,00	21,07	20,35	27,75	29,86	31,93	36,27	25,83
2013	33,41	24,07	20,67	29,55	20,22	20,59	24,07	18,96	26,89	30,80	31,63	26,80	33,41	25,64
2014	32,48	40,37	27,06	21,78	24,31	17,45	16,03	19,90	30,33	21,40	29,06	30,77	40,37	25,91
2015	28,48	26,29	29,00	22,96	21,27	18,95	33,00	20,34	32,37	32,06	27,79	29,71	33,00	26,85
2016	39,28	28,46	27,33	23,72	21,38	21,19	20,55	23,44	29,96	30,73	28,65	30,24	39,28	27,08
2017	25,12	35,64	23,89	27,40	28,25	21,18	31,34	22,22	37,75	28,67	25,80	23,20	37,75	27,54
2018	19,25	25,30	33,67	22,08	19,52	19,81	16,30	31,40	25,18	30,74	28,55	27,44	33,67	24,94
	44,42	47,07	53,60	49,05	28,55	28,72	33,00	31,40	37,75	35,28	32,03	32,32	53,60	27,20

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos obtenidos previamente, se pasa a realizar el balance hídrico, en los cuales lograremos evidenciar en que épocas del año se puede realizar el almacenamiento de agua y en los cuales se puede hacer gasto de este:

Tabla 13: Balance hídrico

BALANCE HIDRICO MACANAL												
ITEM	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
T °	20,55	20,27	18,66	19,31	19,30	19,73	17,71	18,98	17,76	18,82	19,06	21,18
ETP (mm)	44,42	47,07	53,60	49,05	28,55	28,72	33,00	31,40	37,75	35,28	32,03	32,32
PP (mm)	27,13	35,64	56,16	96,73	131,65	147,87	133,35	129,84	105,90	68,97	59,03	44,06
Δ Almacén	17,29	-11,43	2,56	26,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Almacén	82,71	71,28	73,84	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
ETR	44,42	47,07	53,60	49,05	28,55	28,72	33,00	31,40	37,75	35,28	32,03	32,32
Deficit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Escorrentia	0,00	0,00	0,00	21,52	103,10	119,15	100,35	98,44	68,15	33,69	27,00	11,74
Almacén 0	0,00	0,00	2,56	50,24	100,00							
Almacén 100	100,00	88,57	91,13	100,00	100,00							
PP-ETP	-17,29	-11,43	2,56	47,68	103,10	119,15	100,35	98,44	68,15	33,69	27,00	11,74

SI SE EXCEDE DE 100 EN EL ALMACEN SE DEJA 100 Y SI ES MENOR A "CERO" O ES NEGATIVO SE DEJA "CERO"
 ETR = ETP CUANDO HAY AGUA YA SEA LLENO O PARCIALMENTE EN EL ALMACEN
 ETR = PP SOLO CUANDO NO HAY AGUA EN EL ALMACEN
 DEFICIT = ETP - ETR

ETR + ESCORRENTIA	=	PP
1036,33	OK	1036,33
EL ALMACEN ESTA BIEN		

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 2: Balance hídrico



Fuente: Elaboración Propia

Basándonos en los principios de aplicabilidad del equilibrio de masas de agua, el cual analiza lo concerniente a las pérdidas y ganancias de agua dentro de una zona a través del tiempo, dando como resultado poder evaluar cuantitativamente el recurso hídrico disponible para el desarrollo de las actividades agropecuarias en la zona del proyecto.

De acuerdo a la tabla 13 y grafica 2, se puede determinar que esta zona del proyecto presenta precipitaciones constantes a lo largo del año, siendo los picos más altos entre los meses de Mayo, Junio y Julio; además existe una evapotranspiración que se compensa con las precipitaciones, permitiendo más capacidad de recolección, ya sea por el de agua procedente de la niebla o por la misma precipitación; lo cual da como resultado que no se presente escasez de agua durante todo el año.

DETERMINACIÓN DE CAUDAL PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA

Debido a que el proyecto se basa en la autosuficiencia de actividades agrícolas, es necesario realizar un transporte de agua hacia diferentes zonas de la finca, por ende, se debe implementar un sistema que sea capaz de mover las cantidades de agua requeridas en los puntos de siembra; este sistema requerirá del uso de energía eléctrica, la cual podrá ser generada dentro del área del proyecto, gracias a que esta presenta una ubicación estratégica contando con un cauce cercano.

De acuerdo a lo anterior es necesario realizar un analisis probabilístico de los caudales que se generan en el cauce, arrojándonos lo siguientes de resultados provenientes de la estación Alto Muceno:

Tabla 14: Caudales (m3/s) estación Alto Muceno

ESTACION ALTO MUCENO														
CAUDALES														
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR MAYOR ANUAL	PROMEDIO
2000	114,64	104,13	120,19	235,40	902,58	752,13	1713,00	1657,61	1061,90	656,67	493,40	322,96	1713,00	67,78
2001	376,64	154,14	132,96	185,67	584,22	950,60	669,00	1562,61	1028,60	334,54	532,33	297,19	1562,61	56,73
2003	63,96	101,25	148,90	1177,60	779,77	2327,17	2297,96	1678,29	1129,26	1793,58	1419,00	196,35	2327,17	10,92
2004	56,41	70,82	146,67	221,47	1528,67	2457,26	1325,38	1809,93	712,27	252,93	203,67	147,29	2457,26	74,40
2005	117,33	154,34	97,40	165,03	435,42	344,06	468,87	600,58	552,33	243,30	293,03	96,58	600,58	29,73
2006	1142,09	844,85	1683,87	1937,73	3223,93	4398,36	2929,16	3230,67	2082,50	2950,93	2019,96	1107,48	4398,36	22,95
2007	387,96	411,78	754,09	2251,73	3354,96	3673,26	2827,07	3730,74	3378,63	1566,35	2606,56	1978,93	3730,74	22,43
2008	720,39	397,27	441,22	1129,20	3342,97	3161,33	3402,64	3100,48	2541,66	2655,93	1793,40	928,35	3402,64	19,67
2009	923,03	884,39	2102,67	1787,43	2542,19	3527,13	5212,65	3491,32	2212,66	1751,09	1947,66	1454,87	5212,65	23,19
2010	696,39	339,86	1154,00	3675,26	3938,09	3429,63	2795,35	4122,00	2551,66	822,90	2578,70	3044,03	4122,00	24,28
2011	826,52	1009,57	1276,83	3759,03	4921,49	3478,92	4489,38	3480,19	2768,86	2054,74	4302,00	4255,09	4921,49	30,51
2012	858,64	510,06	2140,03	3073,16	3415,45	3026,72	3820,90	3724,48	5121,43	4834,96	2522,53	1294,90	5121,43	28,61
2013	1211,58	2392,21	4241,48	2807,63	3995,38	5020,66	3707,32	6162,63	5850,13	4338,06	4229,76	4656,06	6162,63	40,51
2014	2559,51	2521,03	4645,90	3971,26	5171,83	3527,63	5223,64	3623,11	5023,66	3866,70	3108,60	4844,41	5223,64	40,07
2015	2118,19	2273,28	1908,35	2944,73	3292,67	4088,29	3342,51	4503,81	3908,26	3947,29	5297,26	5127,32	5297,26	35,62
													35,16	

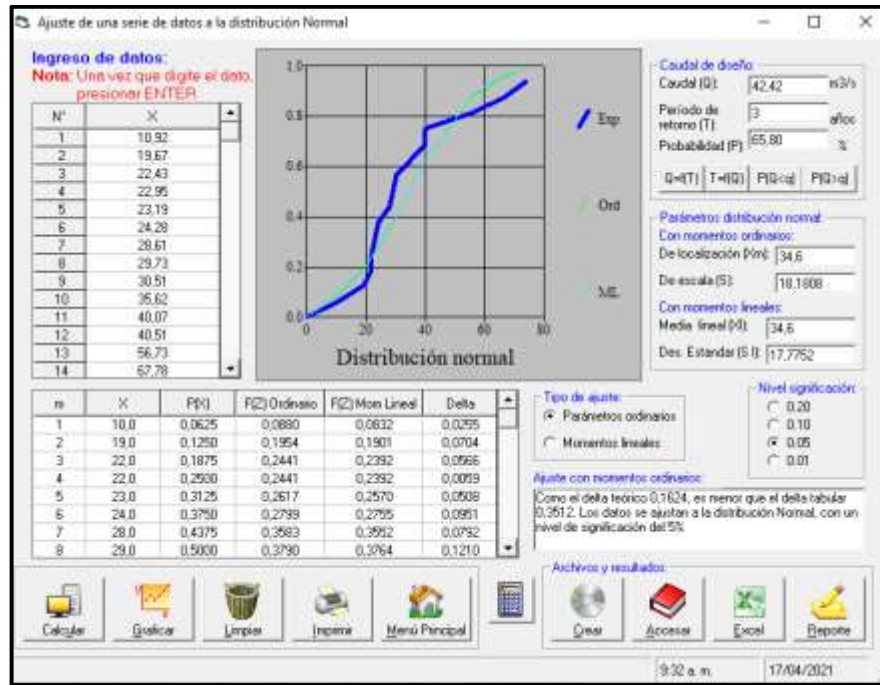
Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de las distribuciones de probabilidad se utilizó el software Hidroesta 2, arrojándonos los siguientes resultados para un periodo de retorno de 3 años:

Ilustración 20: Software Hidroesta 2

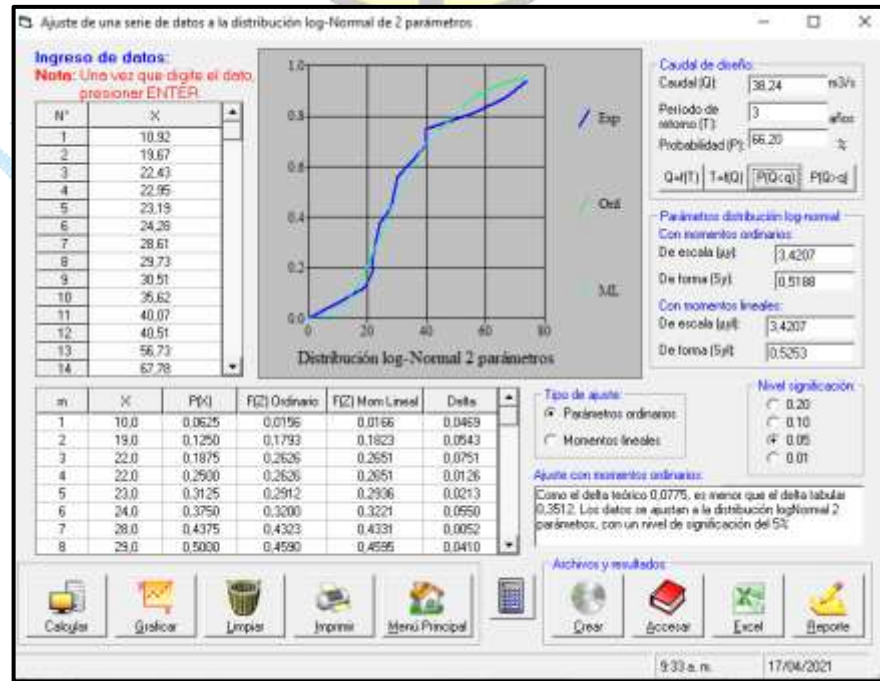


Ilustración 21: Distribución Normal



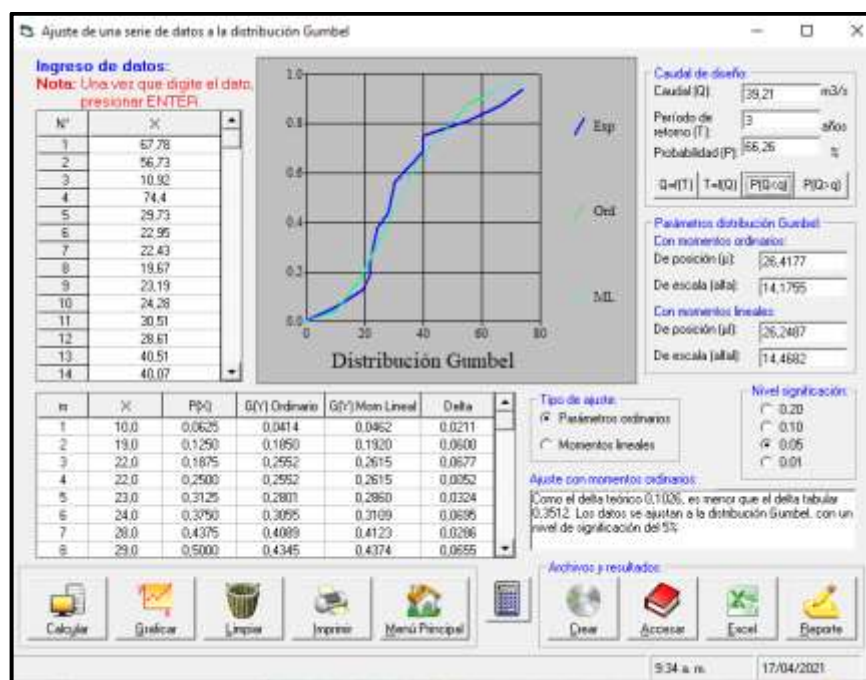
Fuente: Hidroesta 2

Ilustración 22: Distribución Log-Normal de 2 parámetros



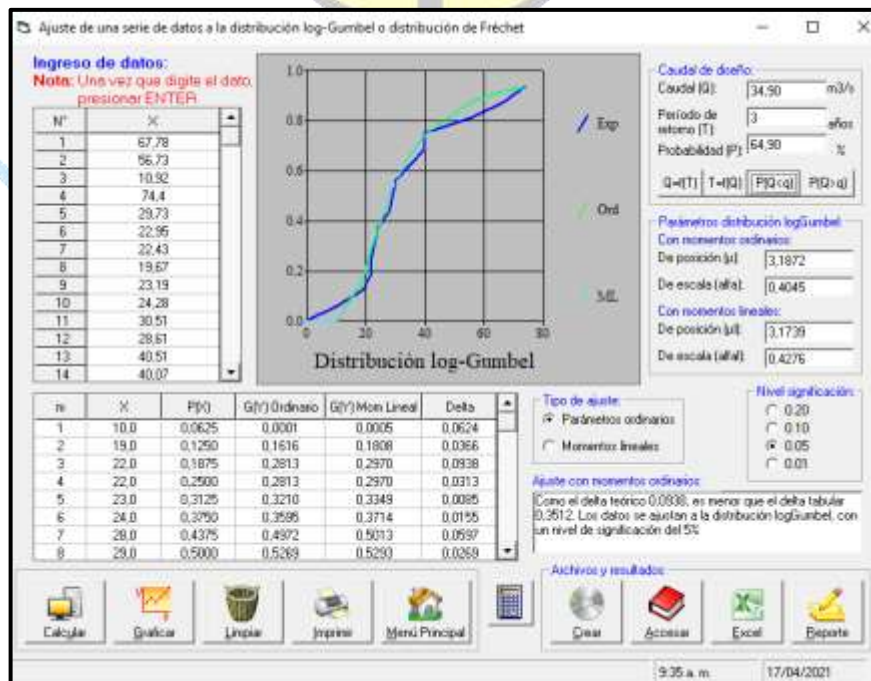
Fuente: Hidroesta 2

Ilustración 23: Distribución Gumbel



Fuente: Hidroesta 2

Ilustración 24: Distribución Log-Gumbel



Fuente: Hidroesta 2

A partir de los datos obtenidos para cada una de las distribuciones de probabilidad, en donde se evalúa que el delta teórico sea menor que el delta tabular, la metodología que más se ajusta a lo requerido es la log-normal de 2 parámetros, la cual para un periodo de retorno de 3 años presenta un caudal de diseño de 38.24 m³/s, con una probabilidad del 66.20 %. Dicho caudal encontrado será empleado para escoger un sistema de generación de energía eléctrica que cumpla con los requerimientos necesarios, para poner en funcionamiento de manera autosustentable el sistema de bombeo el cual abastecerá la zona de cultivo.

SELECCIÓN DE TURBINA Y GRUPO GENERADOR

Para el proceso de generación de energía, la cual permitirá el funcionamiento de la motobomba para el regadío del cultivo, se seleccionó una Micro central VERNIS, la cual es apta para caudales bajos, y diferentes alturas, además esta microcentral ayuda a producir energía eléctrica capaz de cubrir el consumo de una vivienda, por otra parte, es perfecta para implementarse en zonas aisladas o no interconectadas, las cuales cuentan con un cauce de agua.

Ilustración 25: Micro-central



Fuente: Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Esta microcentral aprovechara la diferencia de energía potencial del cauce, y la transformara en energía eléctrica por medio de un hidro-generador, el cual se compone de una turbina y un generador, que permite generar potencias de 1 a 3 kilowatts; así mismo este sistema cuenta con un equipo de suministro que se amolda a la microcentral permitiendo transformar la energía generada al punto de ser almacenada en un grupo de baterías. Este equipo está capacitado para regular la carga de cada batería de acuerdo con la demanda de energía en cada momento; además el conjunto de baterías brinda mayor autonomía a la instalación ya que la protegerá en el caso de presentarse alguna anomalía en la generación.

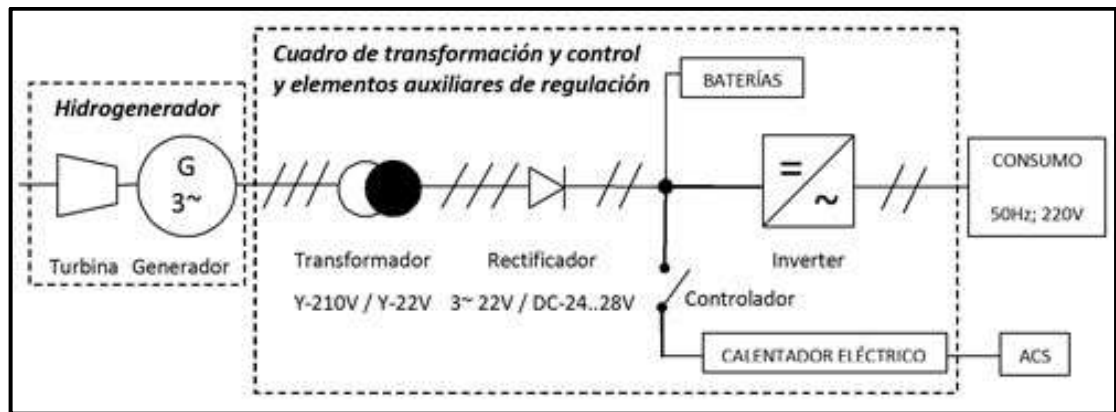
El sistema también permitirá obtener calefacción, si se desea, ya que, al estar las baterías totalmente cargadas, la energía sobrante, será empleada en calentadores eléctricos, que permitirán climatizar la vivienda de la finca.

Ilustración 26: Elementos de la microcentral VERNIS



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Ilustración 27: Esquema eléctrico de la microcentral



Fuente: *interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa*

La microcentral Vernis contará con los siguientes elementos:

Hidro-generador: es el más importante de la microcentral, ya que es este el que hará la transformación de energía, a su vez está conformado por dos elementos:

Turbina: esta tiene la función de realizar el giro del eje del generador; esta acción se lleva a cabo cuando el agua que ingresa a presión golpea los alabes del rodete. Los rodetes son de la clase turgo, los cuales son empleados en la micro-hidráulica.

Ilustración 28: Hidrogenerador



Fuente: *interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa*

El rodete para emplear será de un diámetro de 178mm y 20 paletas, el cual es óptimo en saltos bajos y grandes caudales.

Ilustración 29: Rodete de la turbina turgo



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Por otra parte, la boquilla o inyector, que es el encargado de regular el caudal, está fabricado en PVC, y tendrá un diámetro de 25mm y se acoplará por medio de una rosca de 1,5 pulgadas de diámetro.

Dentro del análisis hidrológico se determinó un caudal de 38,24 m³/s; suficiente para permitir instalar 4 boquillas, esto para aumentar la potencia arrojada por el generador; obteniendo un caudal de salida de cada inyector de 2,77 L/s.

Ilustración 30: Inyectores



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Los anteriores elementos se encuentran dentro de un pie Hidrogenerador que además sirve como soporte del alternador y carcasa de la turbina.

Ilustración 31: Pie Hidrogenerador con 4 inyectores



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Generador: Este elemento es el encargado de transformar la energía mecánica, proveniente del eje movido por la turbina, en energía eléctrica. Los bornes de este de este equipo se encuentran conectados en formato estrella para así minimizar las perdidas en los conductores entre el generador y el equipo de transformación. Con este grupo Hidrogenerador es posible obtener alrededor de 2000 W.

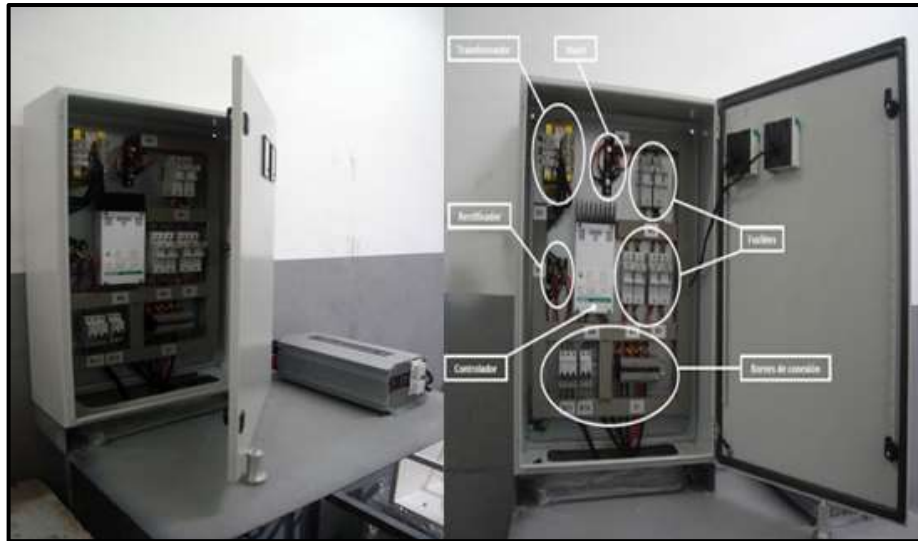
Ilustración 32: Generador



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Equipo de transformación y control: este equipo es el que está conformado por los instrumentos que permiten suministrar la energía eléctrica dentro de las condiciones óptimas de consumo (120 V, 60Hz).

Ilustración 33: Equipo de transformación y control



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

Este proceso se inicia con el paso de la corriente alterna obtenida del generador a un transformador el cual será el encargado de proporcionar un voltaje entre 20 a 24 V, para así pasar a un rectificador que entregará una corriente continua de entre 24 y 28 V, óptima para alimentar las baterías de almacenamiento.

En el caso de que la energía consumida sea menor a la producida, un controlador llevará la energía de exceso a las baterías, una vez cargadas en su totalidad, el controlador dirigirá la energía sobrante a una serie de resistencias reguladoras, que podrán ser usadas para el tema de calefacción.

Conjuntamente un ondulator realizara la última transformación de corriente pasándola de continua a alterna para así disponer de electricidad en condiciones de consumo para aparatos eléctricos (120V, 60Hz).

Ilustración 34: Ondulador



Fuente: interempresas.net: Micro central Vernis: energía hidráulica producida en casa

DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN ATRAPANIEBLAS

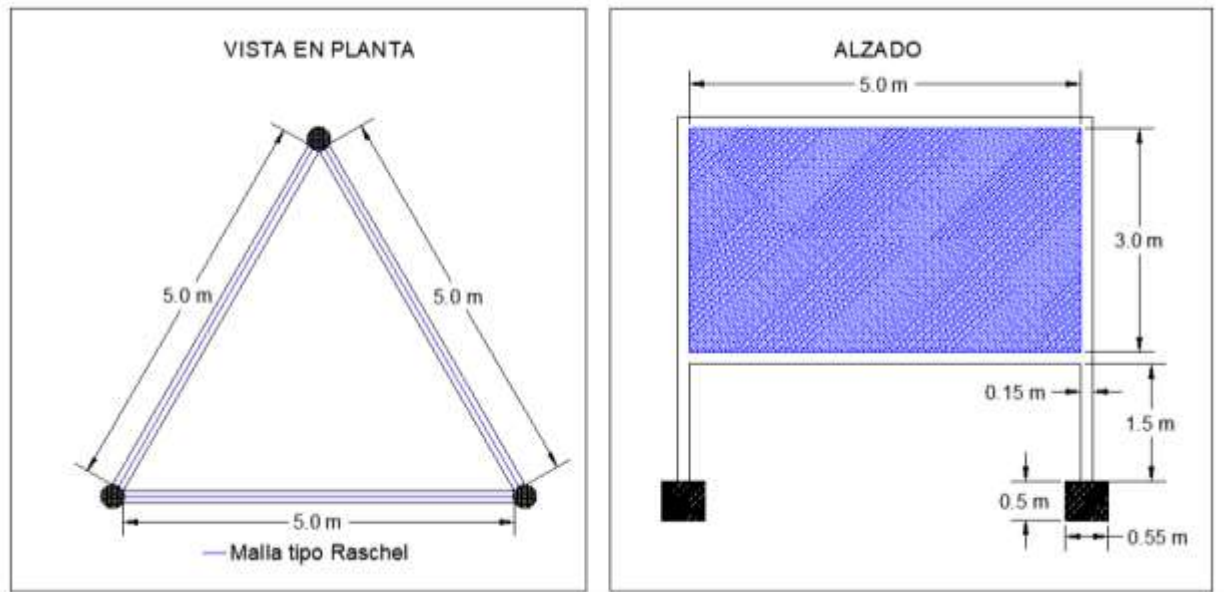
Con base en los diferentes referentes teóricos consultados, en cada uno de ellos se establecieron distintos tipos de sistemas de atrapanieblas, en los cuales varían su geometría y su capacidad de recolección, debido que en algunas zonas estos diseños no pueden superar cierto límite de dimensiones, debido a que los espacios establecidos para su ejecución son muy pequeños.

Cabe destacar que los dos principales diseños de sistemas de atrapanieblas son en forma plana y triangular; según estudios realizados el sistema de forma plana solo recolecta el agua niebla en un solo sentido de circulación del viento, mientras que para el sistema triangular el sentido del flujo del viento no es una limitante puesto que este lo recolecta en cualquier dirección que se presente el viento. Es por esta razón en particular que para la implementación de este proyecto se va a trabajar el sistema triangular debido a que su capacidad de recolección en promedio es de 5 a 8 Litros/día, por metro cuadrado.

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ATRAPANIEBLAS:

Dado que el proyecto busca recolectar la mayor cantidad de agua posible, se realizará la implementación de 3 atrapanieblas de geometría triangular los cuales presentan las siguientes dimensiones:

Ilustración 35: Dimensiones atrapanieblas



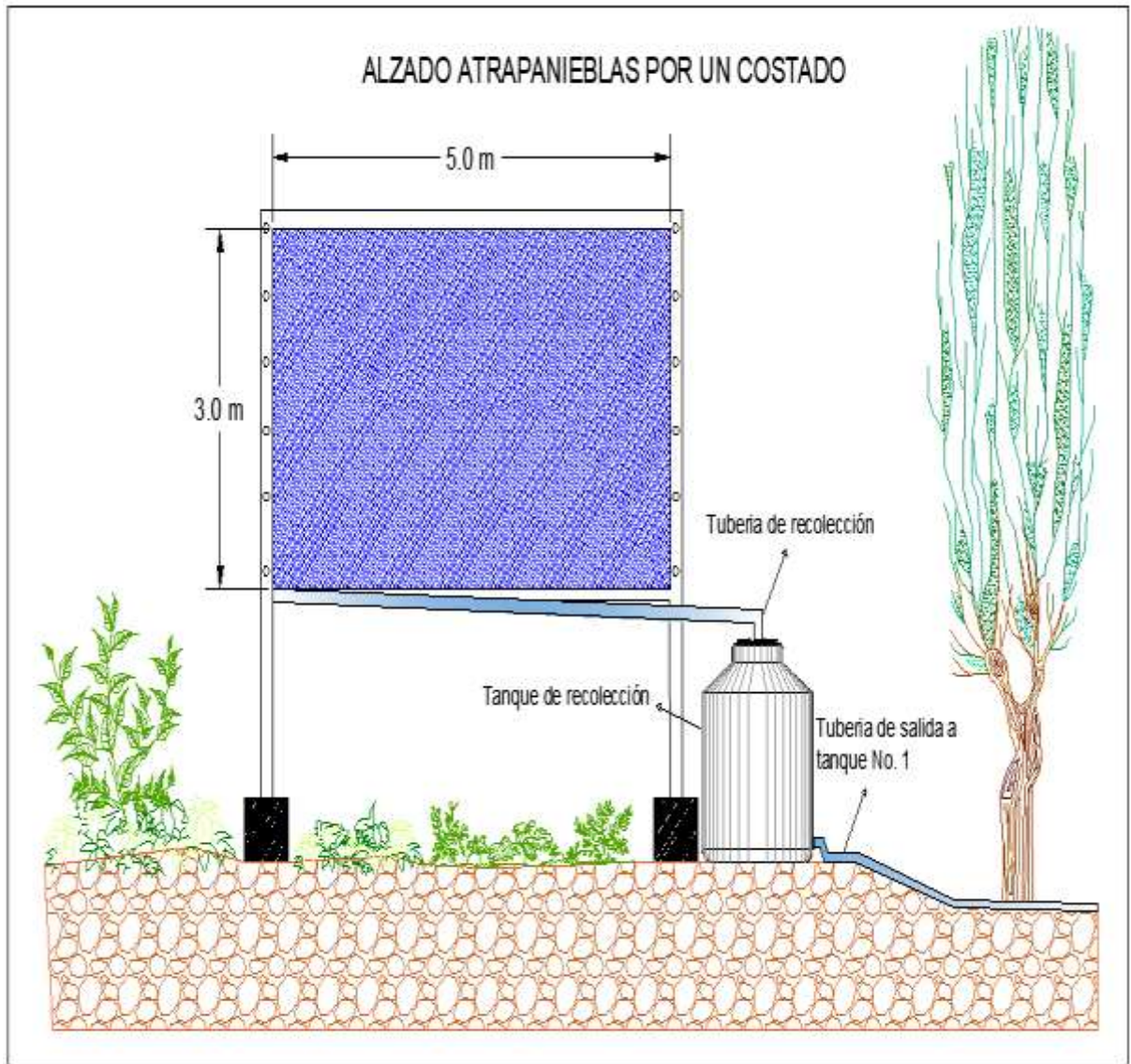
UNIVERSIDAD CATOLICA
de Colombia

Fuente: Elaboración Propia

Estos atrapanieblas en cada una de sus caras cuentan con un área de 15 m², y una capacidad de recolección aproximada de 105 Litros/día, es decir que cada uno de estos puede llegar a ser capaz de recolectar 315 Litros/día, llegando a obtener un volumen total de 945 Litros/día entre los 3 sistemas de recolección.

Cada uno de estos sistemas cuenta con una red de tubería que permite trasportar el agua recolectada a un tanque de almacenamiento, estas tuberías están elaboradas en material PVC de 3 pulgadas, a su vez estas se encuentran ubicadas con una pendiente no menor al 3 % en dirección del tanque de almacenamiento.

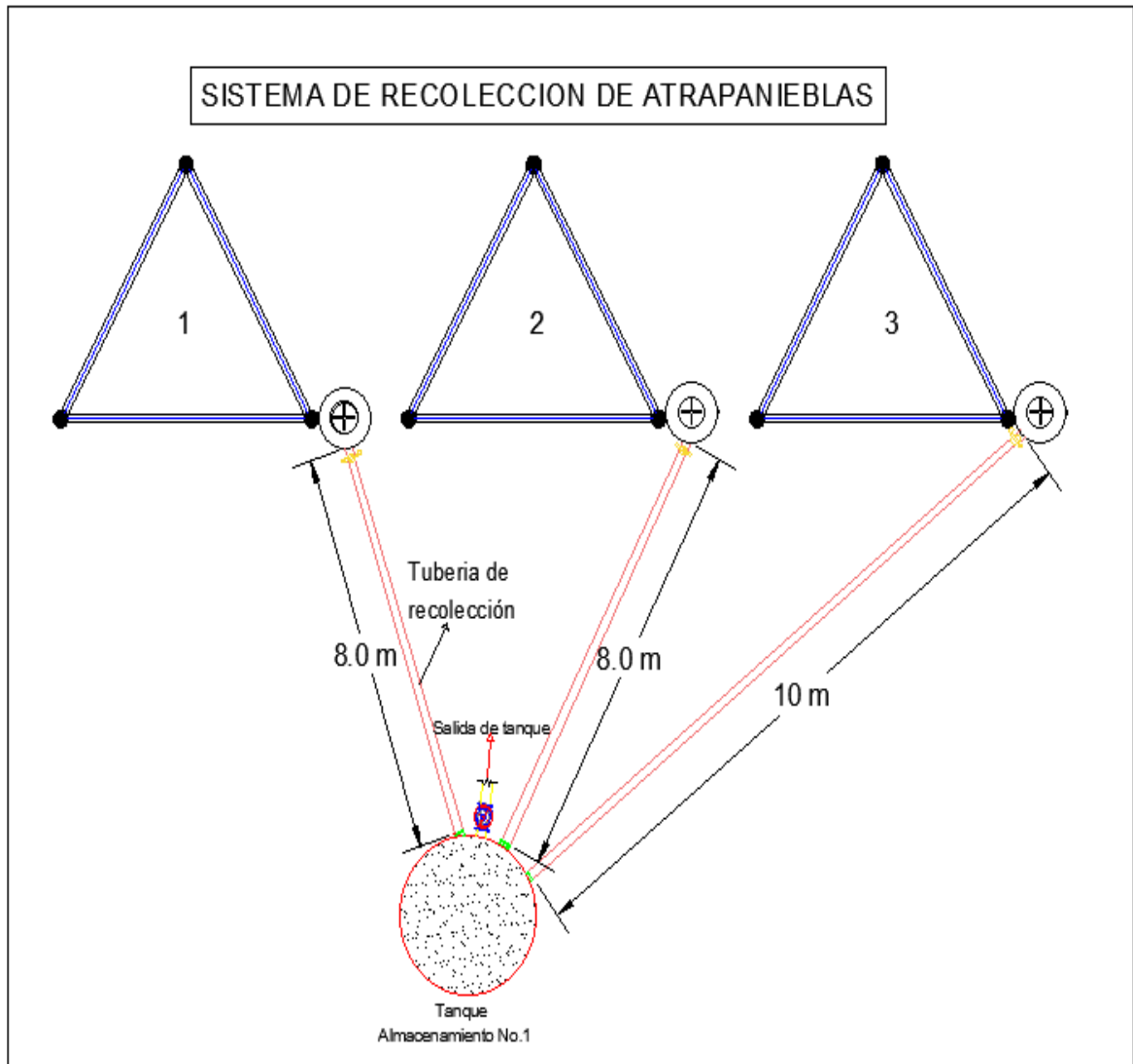
Ilustración 36: Alzado Atrapanieblas



Fuente: Elaboración Propia

Cada uno de los atrapanieblas posee un tanque de almacenamiento de una capacidad de 250 Litros, el cual tendrá la función de almacenamiento primario, para después ser transportado hacia un tanque principal.

Ilustración 37: Vista en planta atrapanieblas

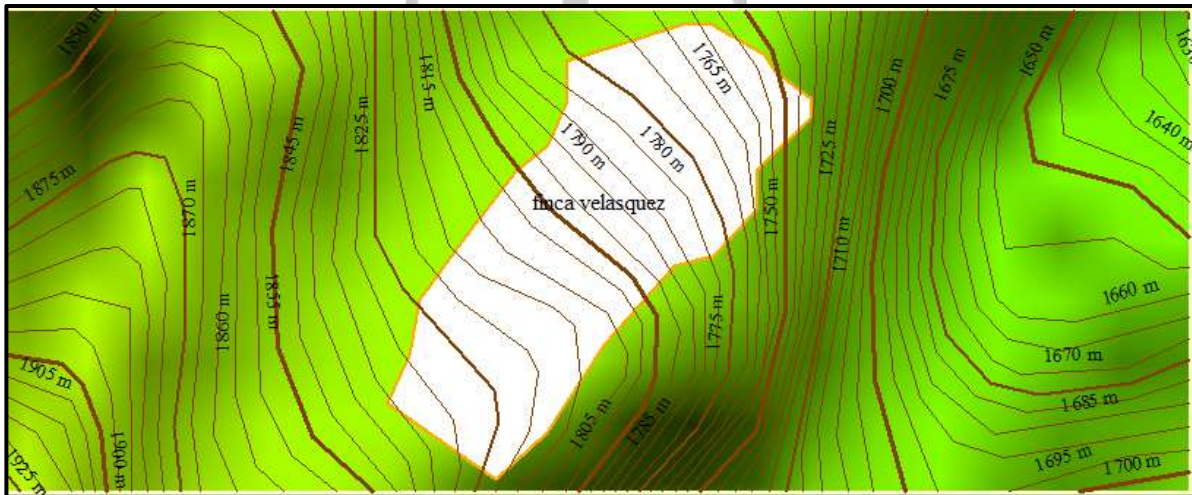
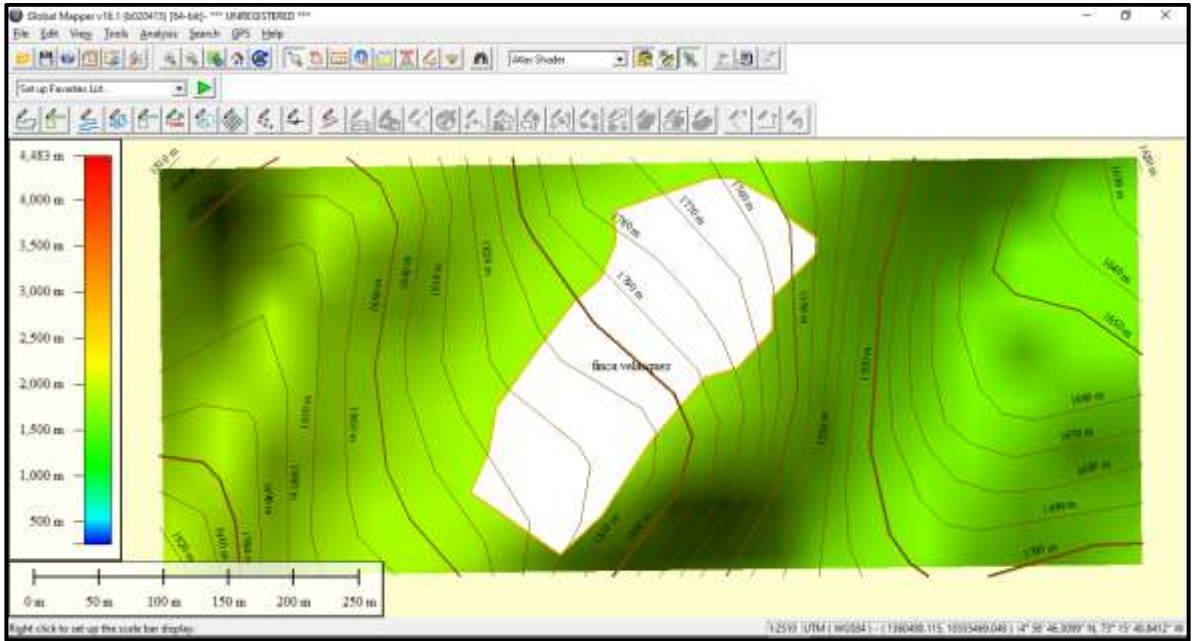


Fuente: Elaboración Propia

UBICACIÓN DE LOS ATRAPANIEBLAS:

Para determinar el mejor sitio posible para la instalación de estos 3 sistemas de recolección, se debe obtener la altimetría del terreno; para esto nos apoyamos en los software Google Earth y Global Mapper 20, siendo este último en el cual se obtienen gráficamente la altimetría y la cual es presentada a continuación:

Ilustración 38: Altimetria Finca Velásquez

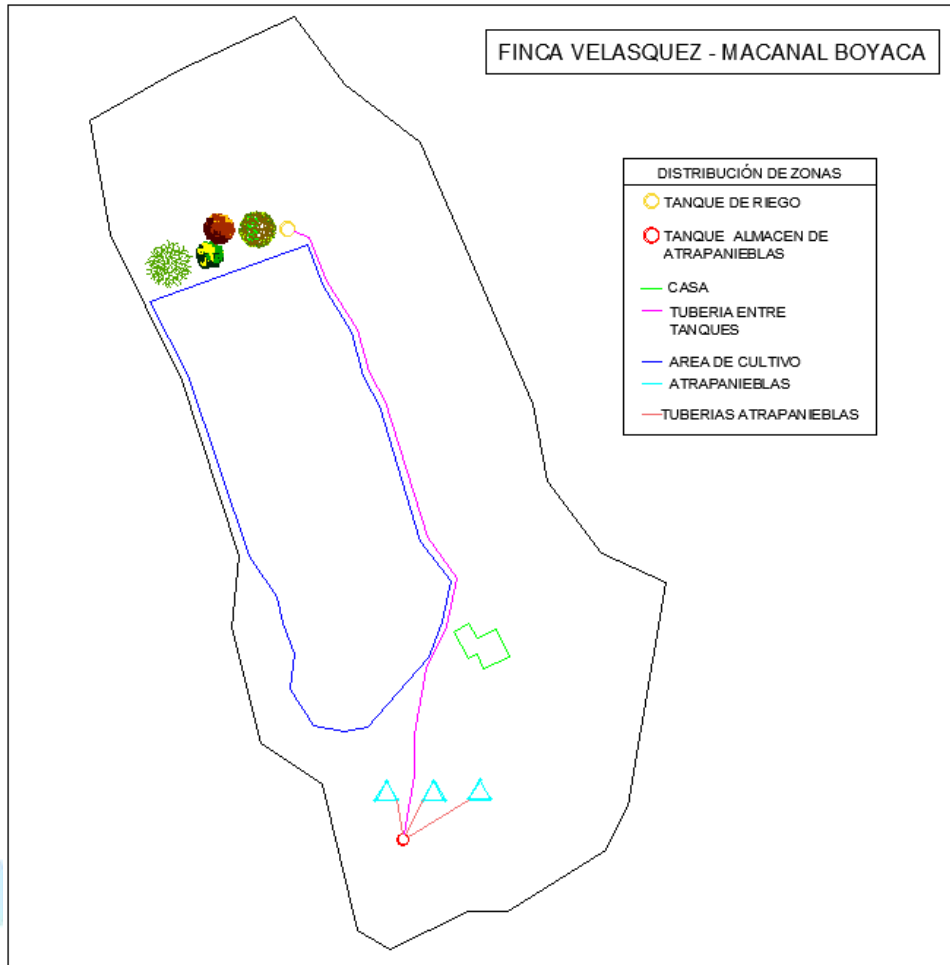


Fuente: Global Mapper 20

Una vez determinada la altimetria de la finca, y detallando los espacios dentro de esta, los cuales pueden ser aptos para su instalación, el mejor lugar posible se encuentra ubicado en la parte baja de la finca a una altitud de 1770 msnm, puesto que se encuentra libre de obstáculos como lo pueden ser la vegetación o zonas establecidas con anterioridad para producción de cultivos.

A continuación, se presenta el detallado de la finca y ubicación de los atrapanieblas:

Ilustración 39: Distribución de espacios



Fuente: Elaboración Propia

ELABORACIÓN DE RED DE TUBERÍAS “SISTEMA DE RIEGO”

La de red de distribución de agua destinada para el riego del cultivo de cítricos, inicia con el traslado del agua captada de la niebla, la cual esta almacenada en un tanque con una capacidad de 3000 litros ubicado a una altura de 1764 msnm, dicho trasporte de agua se hace por medio de un sistema de bombeo, puesto que la zona de sembradío se encuentra en la parte superior de la finca.

Para determinar el sistema de bombeo óptimo para realizar este traslado se necesita unos requerimientos específicos como lo son la altura dinámica de la bomba, la potencia de la bomba. El diseño de la tubería que transporta el agua entre el tanque principal de almacenamiento y el destinado para el riego, da como resultado una tubería de 1", a partir de esto se obtiene la potencia y la altura necesaria de operación de la motobomba, como se aprecia a continuación:

$$h_B = (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_a$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00044 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,0254)^2} = 0,877$$

$$h_f = f * \frac{l}{d} * \frac{V^2}{2g}$$

$$f = 0,02616594$$

$$h_f = 0,02616594 * \frac{250m}{0,0254m} * \frac{0,877^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 10,09m$$

Para la Perdida por accesorios se tiene en cuenta los siguientes elementos:

$$alvula\ globo: km = 10,0$$

$$union : km = 0,3$$

$$entrada: km = 0,5$$

$$salida: km = 1,0$$

$$reduccion\ gradual: km = 0,25$$

$$h_a = \sum Km * \frac{V^2}{2g} = 12,05 * \frac{0,877^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,472m$$

$$h_B = (52m) + \frac{0,877^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} + 10,09m + 0,472m = 62,61m$$

$$P_B = \gamma * Q * h_B = 1000 \frac{N}{m^3} * 0,00044 \frac{m^3}{s} * 62,61m = 272,98\ Watts = 0,366\ HP$$

Una vez obtenidos estos datos, se procede a escoger una motobomba que cumpla con estos requerimientos, para esto nos basamos en un catálogo de la empresa “Ignacio Gómez IHM SAS”, dándonos como resultado la escogencia de la bomba de tipo centrífuga:

Ilustración 40: Información técnica motobomba

	Datos
Conexión succión:	2 Pulg. NPT
Conexión descarga:	2 Pulg. NPT
Altura (ADT) Max:	79 m
Caudal Max:	120 GPM
Caudal medio:	70 GPM
Altura media:	68 m
Rotar:	Monofásica
Potencia:	7.5 HP
Voltaje:	230 V
Fase:	1Ø3 Kg
Dimensiones:	0.7/0.46/0.46 Nts

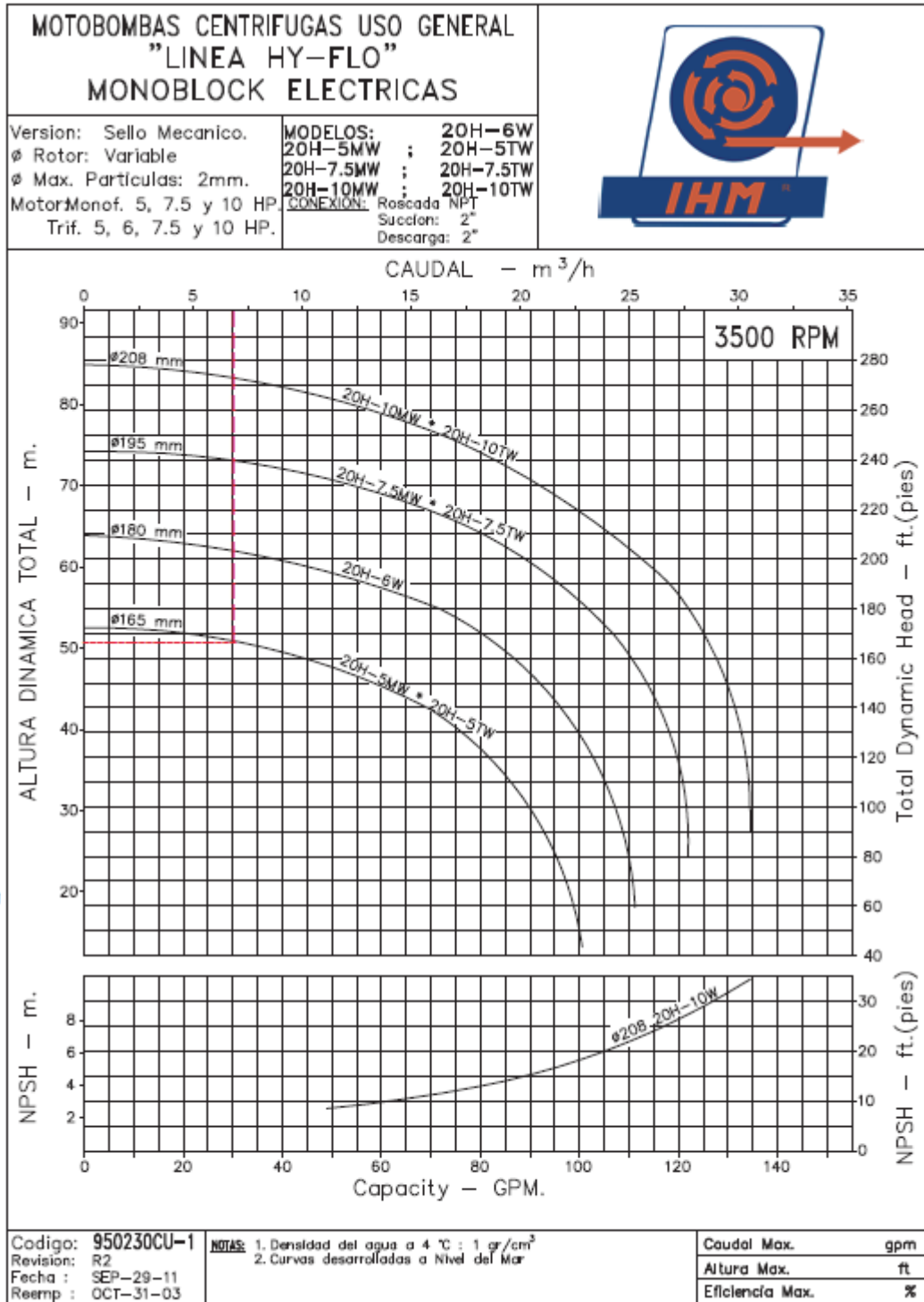
Fuente: IHM SAS

Ilustración 41: Bomba Centrífuga



Fuente: IHM SAS

Grafica 3: Curva característica de la bomba



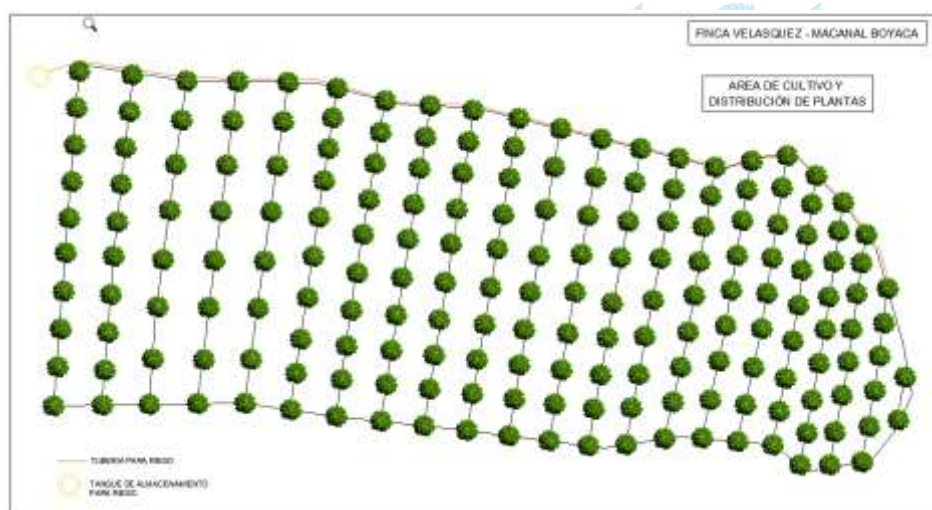
Como muestra la curva característica de la bomba, la cual, para una altura dinámica de 52 m, nos arroja un caudal de 6.8 m³/h, es decir que cumple con los requerimientos necesarios para transportar el agua entre los dos tanques de almacenamiento, ya que nuestro caudal mínimo es de 1.6 m³/h.

Para saber la capacidad de almacenamiento que debe tener el tanque para el riego se necesita saber detalladamente como funciona un cultivo de cítricos saber sus especificaciones técnicas, requerimiento de agua por planta y demás, todos estos datos son presentados a continuación:

✚ AREA DE CULTIVO: 8996 m²

Para un cultivo de cítricos este depende de tener un espacio libre mínimo entre plantas para una buena producción y trabajo de sus obreros, según el ministerio de desarrollo rural, la separación mínima entre cada una de las plantas es de 6.0 metros, y la separación entre cada uno de los surcos o líneas es de 8.0 metros, es decir que nuestra área de cultivo tiene una capacidad de albergar 200 plantas de cítricos, cada una de estas plantas necesitan como mínimo un riego cada 3 días de 4 a 6 litros de agua por planta, es decir que el cultivo en total para su día de riego necesita una cantidad mínima de 800 litros para abastecer a cada uno de estos.

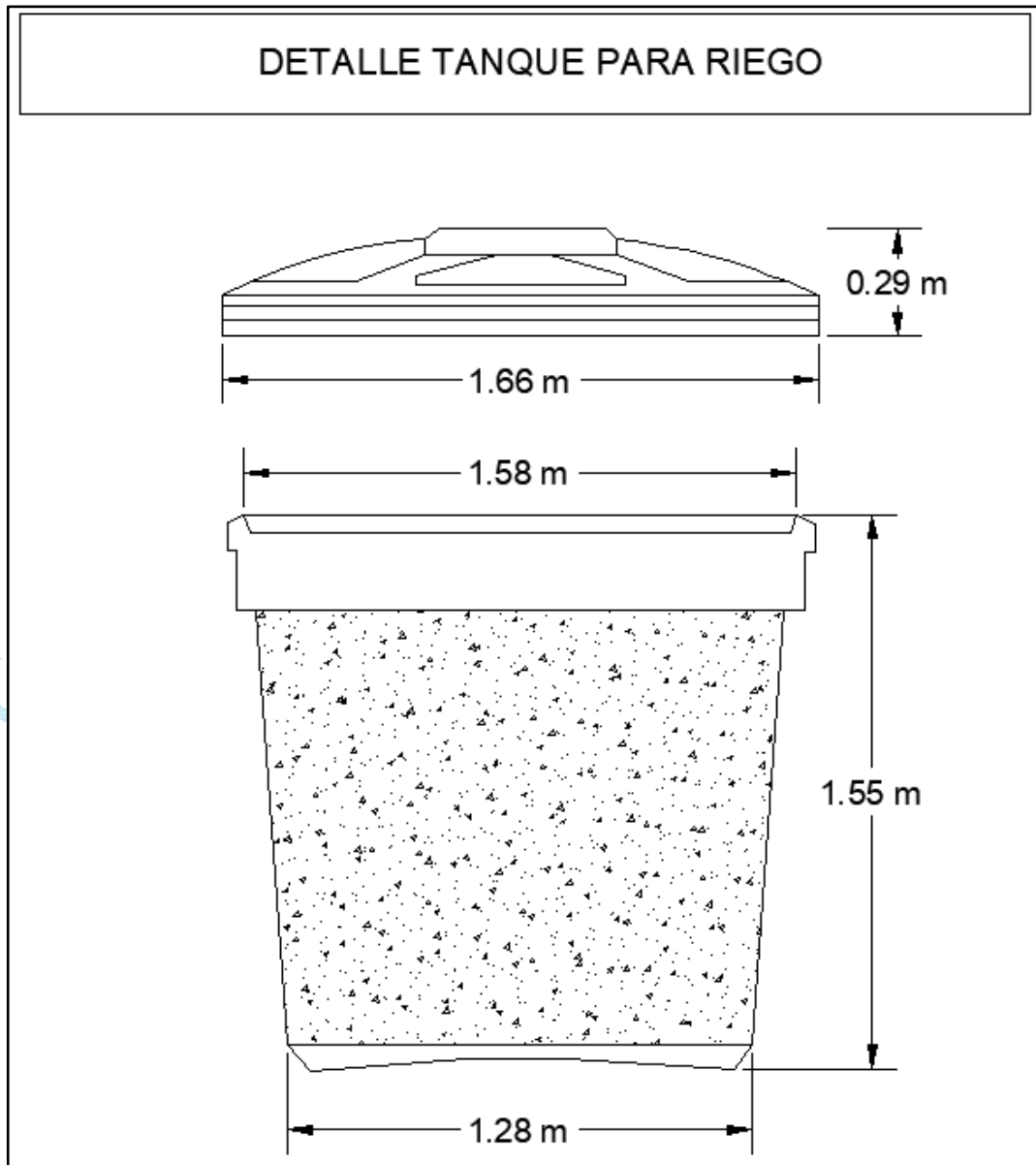
Ilustración 42: Área Cultivable



Fuente: Elaboración Propia

El tanque de almacenamiento para riego tendrá una capacidad de 2000 litros, puesto que para el día de riego se necesitan como mínimo 800 litros, a continuación, se presentan las dimensiones de este reservorio:

Ilustración 43: Dimensionamiento del tanque



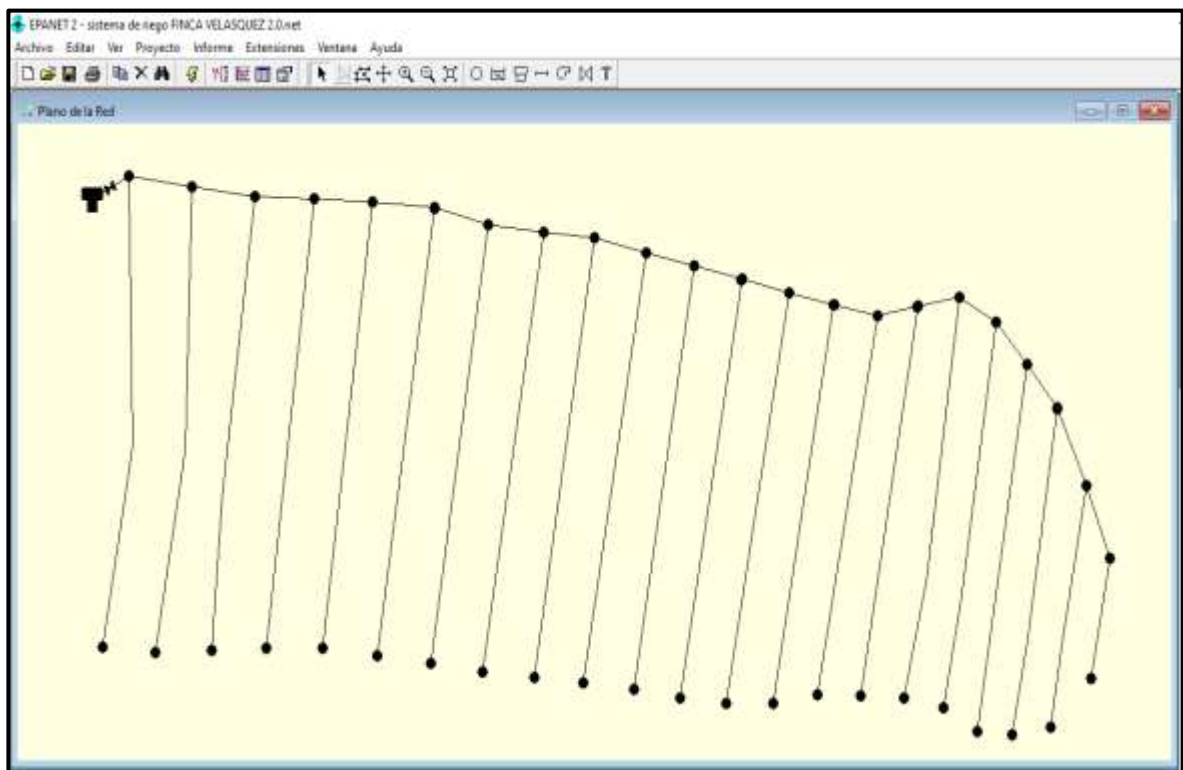
Fuente: Elaboración Propia

Para el dimensionamiento de la red que abastecerá a cada una de las plantas del cultivo, se realizó el diseño y la respectiva evaluación con la ayuda del software EPANET 2.0, y a continuación se presenta el paso a paso de esta evaluación:

DISEÑO Y ANALISIS EN EPANET SISTEMA DE RIEGO:

- Se comenzó realizando el dibujo del área de cultivo, para esto nos ayudamos del software Google earth, con el cual sacamos las distancias entre cada uno de los surcos garantizando un distanciamiento no menor a 8.0 metros.

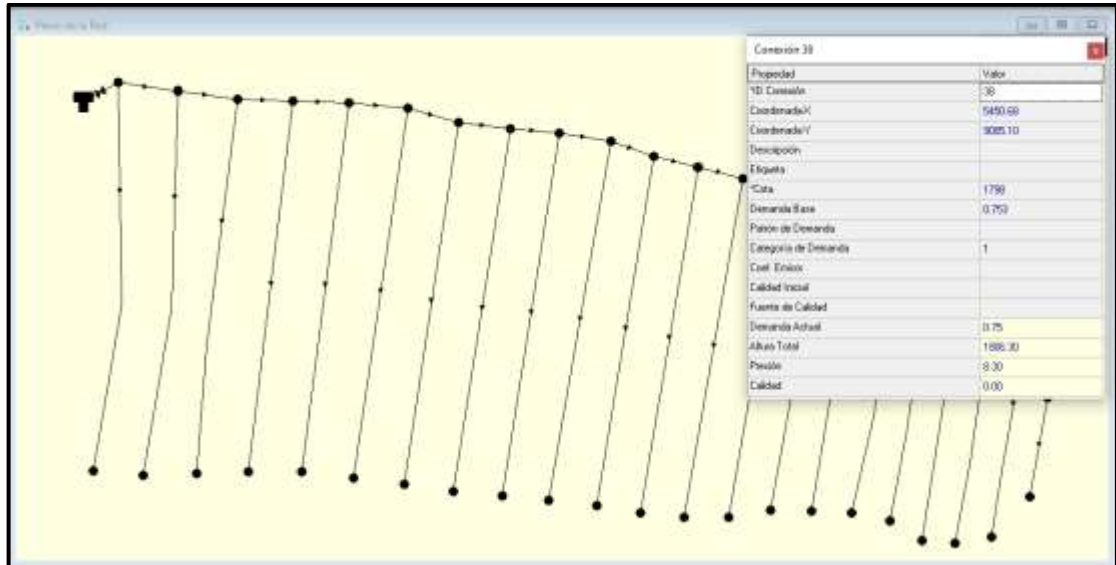
Ilustración 44: Área de Cultivo



Fuente: Epanet 2.0

- Posterior a la realización del bosquejo de la red, a cada uno de los nodos y líneas de flujo se les introdujeron los datos correspondientes, como lo son en cada uno de los nodos la demanda base y la cota correspondiente:

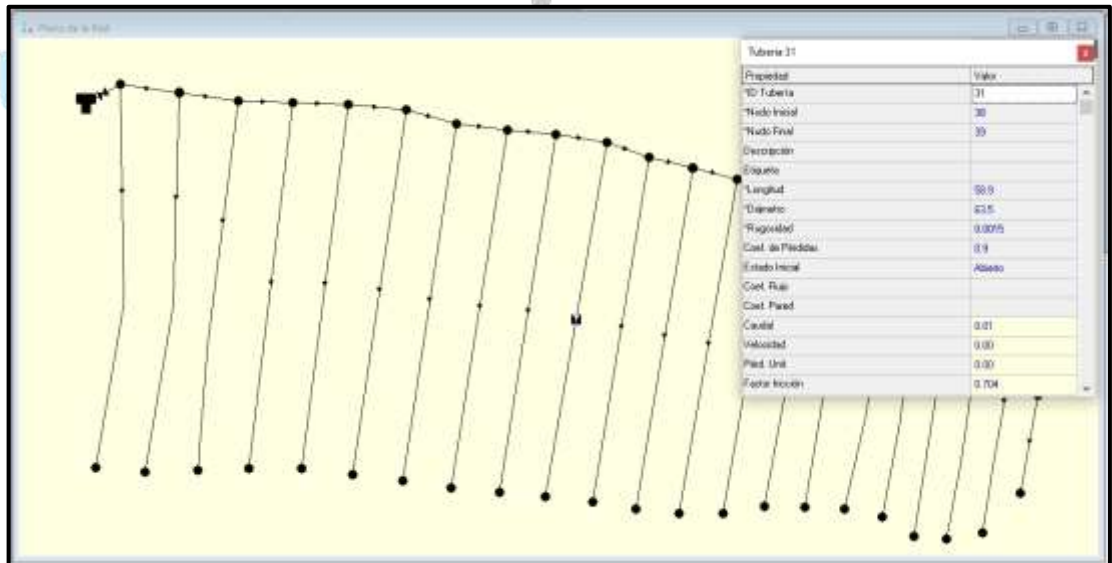
Ilustración 45: Requerimientos en nodos



Fuente: Epanet 2.0

- Para cada una de las líneas de flujo se le introdujeron los datos correspondientes a longitud, diámetro, rugosidad y su respectivo coeficiente de pérdidas:

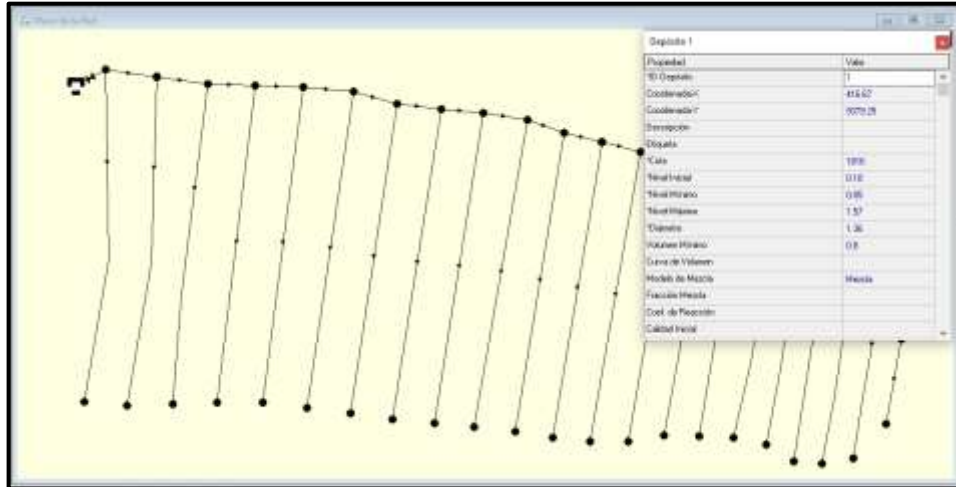
Ilustración 46: Datos líneas de riego



Fuente: Epanet 2.0

- Para el reservorio del cual saldrá el agua para el riego se le introdujeron los datos correspondientes a la cota de ubicación, el diámetro, volumen y niveles:

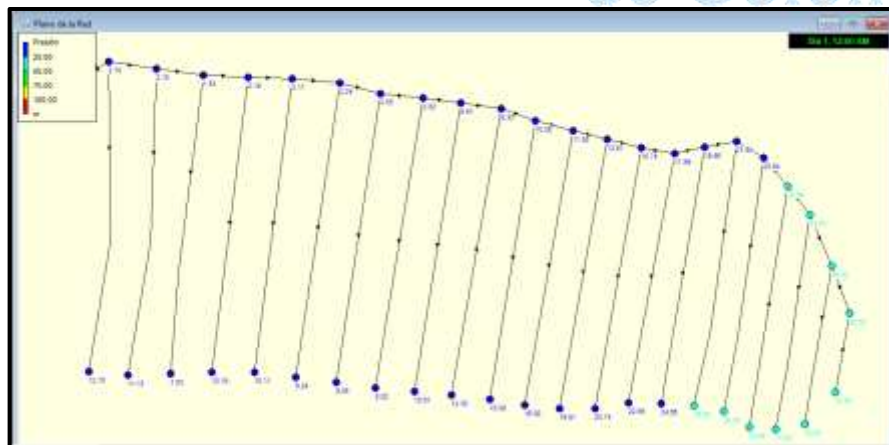
Ilustración 47: Datos reservorio de agua



Fuente: Epanet 2.0

Una vez la red tiene todos los datos, se procede a realizar el análisis mediante el software, para los cuales se debe garantizar que la red no presente en ninguno de sus nodos presiones de tipo negativas y a su vez que en los nodos mas alejados se abastezca la demanda necesaria para estos puntos de riego.

Ilustración 48: Análisis de presión en los nodos



Fuente: Epanet 2.0

A continuación, se presentan los datos arrojados por el software, cabe destacar que, en este análisis realizado por el Epanet, se garantiza que en los nodos no existan presiones negativas:

Ilustración 49: Análisis de nodos

ID Nodo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 20	1811	1.33	1.33	1816.10	2.10
Conexión 21	1804	0.0067	0.01	1816.10	12.10
Conexión 22	1812	1.268	1.27	1814.15	2.15
Conexión 23	1893	0.0067	0.01	1814.15	11.15
Conexión 24	1811	1.26	1.26	1812.53	1.53
Conexión 25	1895	0.0067	0.01	1812.53	7.53
Conexión 26	1893	1.149	1.14	1811.18	2.18
Conexión 27	1891	0.0067	0.01	1811.18	10.18
Conexión 28	1897	1.069	1.06	1810.11	3.11
Conexión 29	1890	0.0067	0.01	1810.11	10.11
Conexión 30	1896	1.009	1.02	1808.24	2.24
Conexión 31	1793	0.0067	0.01	1808.24	9.24
Conexión 32	1804	0.963	0.96	1807.55	3.55
Conexión 33	1798	0.0067	0.01	1807.55	9.55
Conexión 34	1895	0.886	0.89	1807.02	2.02
Conexión 35	1799	0.0067	0.01	1807.02	8.02
Conexión 36	1800	0.809	0.82	1806.61	6.61
Conexión 37	1796	0.0067	0.01	1806.61	10.61
Conexión 38	1798	0.753	0.75	1806.30	8.30
Conexión 39	1794	0.0067	0.01	1806.30	12.30
Conexión 40	1796	0.686	0.68	1806.00	10.00

Fuente: Epanet 2.0

Ilustración 50: Análisis de nodos

ID Nodo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 40	1796	0.686	0.68	1805.08	10.08
Conexión 41	1791	0.0067	0.01	1805.08	15.08
Conexión 42	1794	0.628	0.62	1805.92	11.92
Conexión 43	1795	0.0067	0.01	1805.92	16.92
Conexión 44	1792	0.553	0.55	1805.81	13.81
Conexión 45	1796	0.0067	0.01	1805.81	19.81
Conexión 46	1790	0.486	0.48	1805.74	15.74
Conexión 47	1795	0.0067	0.01	1805.74	20.74
Conexión 48	1788	0.428	0.42	1805.63	17.63
Conexión 49	1783	0.0067	0.01	1805.63	22.63
Conexión 50	1788	0.368	0.36	1805.06	19.06
Conexión 51	1781	0.0067	0.01	1805.06	24.06
Conexión 52	1784	0.293	0.29	1805.85	21.85
Conexión 53	1779	0.0067	0.01	1805.85	26.85
Conexión 54	1782	0.227	0.23	1805.64	23.64
Conexión 55	1777	0.0067	0.01	1805.64	28.64
Conexión 56	1780	0.167	0.17	1805.64	25.64
Conexión 57	1775	0.0067	0.01	1805.64	30.64
Conexión 58	1778	0.137	0.13	1805.63	27.63
Conexión 59	1774	0.0067	0.01	1805.63	31.63
Conexión 60	1776	0.063	0.06	1805.63	29.63

Fuente: Epanet 2.0

Ilustración 51: Análisis líneas de flujo

ID Línea	Longitud m	Díametro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/A	Factor de Fricción
Tubería 13	58.4	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.710
Tubería 15	57.1	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.726
Tubería 17	56.1	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.739
Tubería 19	56.3	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.000
Tubería 21	56.7	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.000
Tubería 23	57.8	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.717
Tubería 25	57.6	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.720
Tubería 27	58.2	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.712
Tubería 29	59.2	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.000
Tubería 31	58.9	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.704
Tubería 33	58.9	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.704
Tubería 35	58.7	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.706
Tubería 38	57.5	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.000
Tubería 39	58.6	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.707
Tubería 41	55.4	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.748
Tubería 43	57.2	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.725
Tubería 45	59.7	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.694
Tubería 47	58.9	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.728
Tubería 49	55.6	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.745
Tubería 51	50.4	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	0.000
Tubería 53	37.9	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	1.094

Fuente: Epanet 2.0

Ilustración 52: análisis líneas de flujo

ID Línea	Longitud m	Díametro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/A	Factor de Fricción
Tubería 53	37.9	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.00	1.094
Tubería 55	14.9	63.5	0.0015	0.01	0.00	0.01	2.900
Tubería 2	8	63.5	0.0015	13.24	4.18	244.19	0.017
Tubería 3	8	63.5	0.0015	11.97	3.78	202.65	0.018
Tubería 4	8	63.5	0.0015	10.77	3.40	166.61	0.018
Tubería 5	8	63.5	0.0015	9.62	3.04	135.41	0.018
Tubería 6	8	63.5	0.0015	8.53	2.69	233.40	0.040
Tubería 7	8	63.5	0.0015	7.50	2.37	85.89	0.019
Tubería 8	8	63.5	0.0015	6.55	2.07	66.86	0.020
Tubería 9	8	63.5	0.0015	5.65	1.78	51.16	0.020
Tubería 10	8	63.5	0.0015	4.83	1.52	38.34	0.021
Tubería 11	8	63.5	0.0015	4.07	1.28	28.09	0.021
Tubería 12	8	63.5	0.0015	3.37	1.07	20.02	0.022
Tubería 14	8	63.5	0.0015	2.75	0.87	13.82	0.023
Tubería 16	8	63.5	0.0015	2.19	0.69	9.17	0.024
Tubería 18	8	63.5	0.0015	1.69	0.53	5.79	0.025
Tubería 20	8	63.5	0.0015	1.27	0.40	3.46	0.027
Tubería 22	8	63.5	0.0015	0.90	0.28	1.89	0.029
Tubería 24	8	63.5	0.0015	0.60	0.19	0.93	0.032
Tubería 26	8	63.5	0.0015	0.37	0.12	0.39	0.036
Tubería 28	8	63.5	0.0015	0.19	0.06	0.13	0.044

Fuente: Epanet 2.0

Dado que el análisis en Epanet nos arroja presiones positivas, es decir la simulación no presenta errores, se define los siguientes aspectos para el sistema de riego:

- *Tipo de ducto de distribución:* manguera de polietileno (1400 metros)

Ilustración 53: Manguera de Polietileno



Fuente: <https://plaxco.com.co/producto/manquera-en-polielileno-4/>

- *Diámetro:* 2" ½.

- *Accesorios:*

Tee de Acople Interna:

Ilustración 54: Tee de Acople interna



Fuente: <https://plaxco.com.co/producto/manquera-en-polielileno-4/>

Válvula de bola:

Ilustración 55: Válvula de bola



Fuente: <https://www.grival.com/soluciones-para-aqua/valvulas-de-control/valvulas-de-bola-pvc>

Conectores para riego:

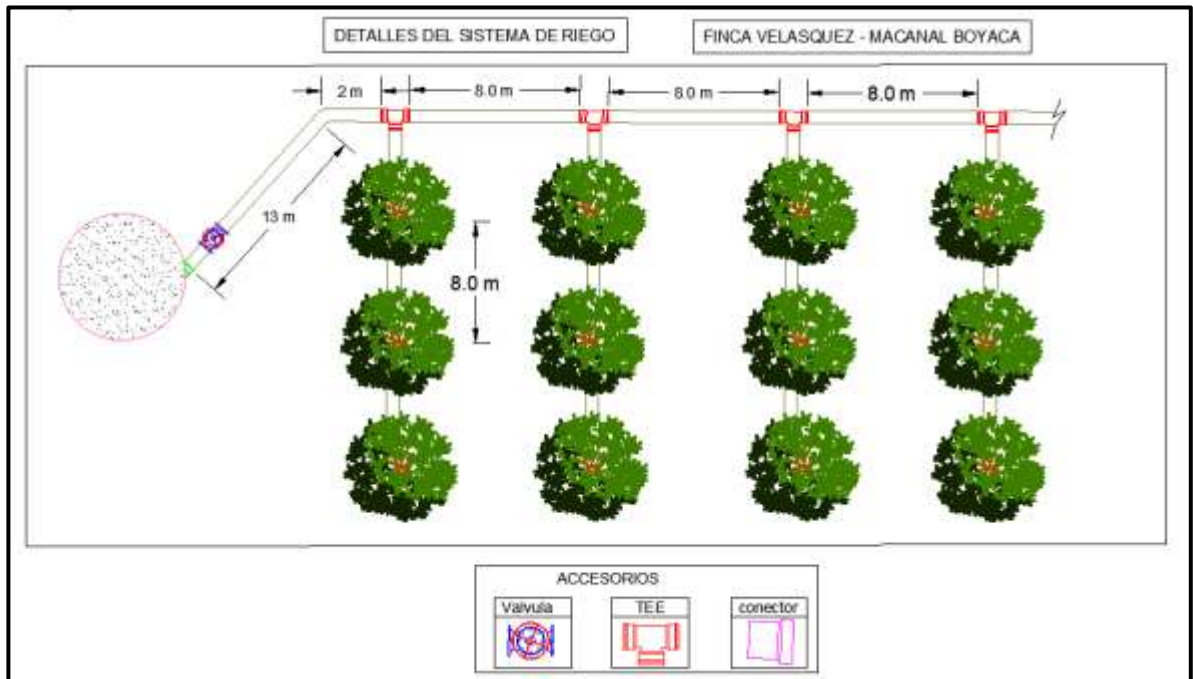
Ilustración 56: Conectores para riego



Fuente: http://www.insumosderiego.com.ar/conectores_para_tuberias_rollos_para_goteo_riego_agricola.php

En la ilustración 56, se encuentra establecido el detallado final de las conexiones y los accesorios que va a tener el sistema de riego.

Ilustración 57: Detallado sistema de riego



Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

PRESUPUESTO PROPUESTO PARA IMPLANTACIÓN

Para conocer si el proyecto cuenta con una viabilidad presupuestal, se requiere estar al tanto de los costos de cada uno de los componentes que integral el sistema, desde la generación de energía hasta llegar al sistema de riego; asimismo por medio del presupuesto del proyecto es posible conocer en cuanto tiempo se recuperara la inversión hecha, es por esto que a continuación se presentan los costos de cada uno de los elementos de modelo.

Tabla 15: Presupuesto de implementación

PRESUPUESTO				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR TOTAL
TURBINA Y GRUPO GENERADOR				
1	Hidrogenerador	1	UN	\$ 2.000.000
2	Ondulador	1	UN	\$ 1.500.000
3	Tablero de control	1	UN	\$ 1.000.000
4	Baterias	2	UN	\$ 3.000.000
				TOTAL \$ 7.500.000
ATRAPANIEBLAS				
5	Malla Raschel	135	m2	\$ 182.385
6	Tubo PVC 3 pulgadas	30	m	\$ 339.000
7	Poste de madera	45	m	\$ 574.200
8	Tanque almacenamiento 250 Litros	3	UN	\$ 407.700
9	Tubo PVC 1 1/2 pulgadas	26	m	\$ 185.900
10	Valvula de bola 1 1/2 pulgada	3	UN	\$ 43.800
11	Taque almacenamiento 3000 Litros	1	UN	\$ 993.080
				TOTAL \$ 2.726.065
SISTEMA DE BOMBEO				
12	Bomba Centrífuga 20H-7.5MW	1	UN	\$ 8.137.000
13	Manguera de succión 2 pulgadas x 6 metros	1	UN	\$ 169.900
14	rollo manguera de 1 pulgada para alta presi	3	UN	\$ 495.000
15	Valvula de bola 1 pulgada	1	UN	\$ 12.900
16	union interna para mangueras	2	UN	\$ 2.000
17	Reducción de 2" a 1"	1	UN	\$ 2.500
				TOTAL \$ 8.819.300
SISTEMA DE RIEGO				
18	Taque almacenamiento 2000 Litros	1	UN	\$ 550.000
19	Valvula de bola 2 1/2 pulgadas	1	UN	\$ 25.000
20	Unión Tee interna 2 1/2 pulgadas	22	UN	\$ 110.000
21	Conectores para riego	200	UN	\$ 180.000
22	Rollo manguera para riego de 2 1/2 pulgadas	14	UN	\$ 4.200.000
				TOTAL \$ 5.065.000
INVERSIÓN TOTAL				\$ 24.110.365

Fuente: Elaboración Propia

ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Un árbol de limon produce al año 1200 frutos aproximadamente lo que equivalen para un cultivo de 200 plantas en 240000 frutos, es decir 24 toneladas, en el ámbito comercial esta producción arroja para venta un total de 960 canastillas anuales, donde cada una de estas pesa alrededor de 25 kilogramos, con un valor promedio de \$30.000 en el mercado mayorista, es decir que en el año se estima un ingreso de \$ 28.800.000, destacando que este cultivo desde su siembra hasta su etapa de producción se demora alrededor de 3 años y su etapa de recolección de frutos ronda los 17 años.

De acuerdo con lo anterior con respecto al cultivo y comparándolo con la tabla 15 de presupuesto del modelo, se puede evidenciar que la implementación de este en conjunto (atrapanieblas, generación de energía, sistema de bombeo y sistema de riego), tienen un costo de implementación elevado, puesto que cada una de las partes que lo componen pueden sufrir cambios en sus precios, dado que muchos de estos aparatos son necesarios importarlos; sin embargo comparado con la duración que va tener el cultivo y su producción, al cual este modelo va a prestar el servicio, en materia de costos puede ser viable, ya que el valor de la inversión será recuperado en un plazo no mayor a 5 años, y a su vez los mantenimientos de este modelo son bajos.

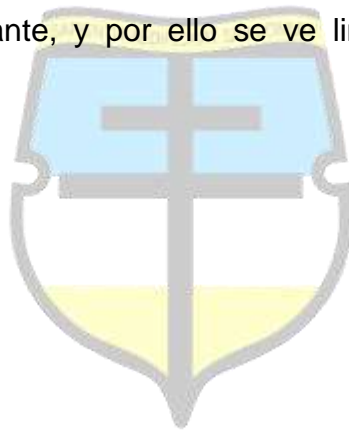
En cuanto la implementación del sistema de generación de energía autosustentable por medio de la microcentral Vernis, se evidencia que, en la zona del proyecto para la cantidad de caudal y altura disponible, la microcentral puede llegar a generar 3.0 kW/h, siendo esta potencia lo suficiente para suplir la demanda de energía que requiere el sistema de bombeo.

Además, con el paso del tiempo, la inversión realizada en el sistema de generación de energía se podrá suplir con el dinero producto del pago de la factura de energía; una parte importante a destacar es que este sistema es autosuficiente debido a que

no se depende de una empresa encargada de suministrar algún tipo de servicio, ya que el suministro de energía es realizado dentro de la finca, resaltar que todo este proceso es amigable con el ambiente.

Se pudo evidenciar que en esta zona donde se va a implementar este proyecto, es viable ya que en la mayoría de la época del año existe cierta cantidad de precipitaciones y por ende la presencia de niebla, la cual ayuda para la recolección de esta y el regadío constante del cultivo.

Para esta finca en particular es viable también la implementación ya que, por estar ubicada en la parte alta de la zona montañosa, no cuenta con algún tipo de suministro de agua constante, y por ello se ve limitada para la producción de cualquier tipo de cultivo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

CONCLUSIONES

En cuanto a la viabilidad técnica de diseño y ejecución de este modelo recolección de agua de niebla y de generación autosuficiente de energía, para la finca Velásquez, ubicada en el municipio de Macanal, departamento de Boyacá, puede ser factible ya que esto impulsa de una u otra manera la modernización en las zonas rurales, brindándoles a estas comunidades una fuente para suplir sus necesidades y mejorando su calidad de vida mediante la producción de cultivos que en épocas anteriores se veían limitados por la falta de apoyo.

Se llevo a cabo un estudio hidrológico de la zona donde se planteó el proyecto, allí se pudo evidenciar que se presentan precipitaciones constantes a lo largo del año, siendo mayores entre los meses de mayo, junio y Julio, de esta forma se observó que existe una evapotranspiración que se ayuda con las precipitaciones para permitir una mayor capacidad de recolección de agua.

Con ayuda del estudio hidrológico y un análisis probabilístico se obtuvo un caudal de diseño para el cauce cercano a la finca del proyecto, el cual servirá para poner en marcha el sistema de generación de energía, dando como resultado un caudal de 38.24 m³/s; suficiente para implementar un grupo de generación de pequeña escala, pero capaz de producir la energía suficiente para poner en marcha el sistema de bombeo seleccionado.

Se destaca que la inversión total para la puesta en marcha de este modelo en conjunto es alta, pero esta puede verse amortizada en los primeros 5 años de producción del cultivo de cítrico, quedando un margen de 12 años de utilidades.

Este modelo de captación de agua permite impulsar nuevas técnicas que en nuestro país no son tan comunes, explorando un factor climático como lo es la niebla, el cual en la mayoría de las zonas pasa desapercibida, y la cual podría ayudar a mejorar el bienestar de las comunidades ubicadas en las zonas rurales.

Para la implementación del sistema de generación de energía, se observa la factibilidad tanto económica como ambiental a la hora de prestar un servicio tan necesario en la actualidad como lo es el suministro de energía eléctrica, sin ocasionar daños al entorno. En cuanto los costos para la puesta en marcha de este sistema son accesibles, siempre y cuando estas comunidades tengan el apoyo de distintos tipos de entes gubernamentales. Esta implementación tendrá la capacidad de darle a sus productores la realización de sus labores diarias, promoviendo modernización y trabajo constante para las zonas del campo.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para la realización de proyectos a futuro que complementen este modelo, recomendamos llevar a cabo estudios más detallados en cuanto a la hidrología del sector, ya que la realización de estos estudios para este proyecto en particular se vio condicionados por circunstancias generadas por el marco de la pandemia del COVID 19, puesto que no fue posible el desplazamiento hacia la zona trabajo y por ende fue necesario apoyarnos de la información suministrada en internet.

Buscar incentivos económicos por parte de los entes privados y gubernamentales, que permitan desarrollar este tipo de proyectos en diferentes zonas del país, ya que su viabilidad técnica y económica es factible, además impulsando el sector rural hacia la modernización de este.

Elaborar y llevar a cabo este proyecto, en los cuales se pueda contar con un monitoreo constante para así poder determinar la eficiencia real del proyecto en campo.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

BIBLIOGRAFIA

- ✚ CANCHAYA, Christopher y CHERO, Luis. Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña.
- ✚ CARRASCO JIMENEZ, Jorge. Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias. Chile. 2016. Pag. 50.
- ✚ central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de concepción perteneciente al departamento de Junín. Trabajo de grado. Ingeniería civil. Lima, Perú. Universidad peruana de ciencias aplicadas. 2014. 112p.
- ✚ CERECEDA, Pilar; HERNANDEZ, Pedro. Agua de niebla nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas. Chile. 2014. Pag. 68.
- ✚ Comunicación de sustentabilidad y RSE. [Sitio Web]. Expoknews.com. [Consultado: 17 octubre de 2020]. Disponible en: <
<https://www.expoknews.com/que-es-un-atrapanieblas/>>
- ✚ D.F. CAMPOS ARANDA. Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí, México. 1998. Pag 1-4. Editorial: Universitaria Potosina.
- ✚ ESPITIA, Silvia Stefanny. Diseño De Una Pequeña Central Hidroeléctrica A Escala Laboratorio Utilizando Aguas Lluvias Del Bloque A De La Universidad Libre, Sede Bosque Popular. Trabajo de grado. Ingeniería ambiental. Bogotá D.C. Universidad libre de Colombia.2013. 106p.
- ✚ Fondo internacional del desarrollo agrícola. FIDA. Captación y almacenamiento de aguas lluvias, opciones técnicas para la agricultura familiar en América latina y Caribe. Chile. 2013. Pag. 26.
- ✚ HERNÁNDEZ, Antonio. Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico. Trabajo fin de master inédito. Máster en Ingeniería Industrial. Sevilla. Universidad de Sevilla. 2016. 228p. Informador técnico. Diciembre, 2011. vol. 75. no. 2011, p. 73-85.

- ✚ Instituto de investigaciones agropecuarias. [Sitio Web]. INIA. [Consultado: 16 octubre de 2020]. (Pag. 12). Disponible en: < https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75632_archivo_01.pdf >
- ✚ LANDA, Freddy y LLANGANATE Luis. Diseño Y Construcción De Una Pico Central Hidroeléctrica Utilizando Una Turbina Michel Banky Para Generación Eléctrica En El Sector De Las Carmelitas Del Cantón Tena. Trabajo De Grado. Ingeniería Electromecánica. Latacunga, Ecuador. Escuela Politécnica Del Ejercito. 2009. 151p.
- ✚ MARTINEZ, Christian y MOSQUERA, Yeirson. Diseño De Una Picocentral Hidroeléctrica (Pch) Impulsada Por La Potencia Hidráulica Del Río San Juan En La Vereda Salao (Medio San Juan, Chocó, Colombia). Trabajo De Grado. Ingeniería Mecánica. Bogotá D.C. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 2017. 247p.
- ✚ MENDOZA, Blanca Cecilia y CASTAÑEDA, Fredy Rolando. Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. 2014. Pag. 35.
- ✚ MORALES, Carlos y SAAVEDRA, Fabian. Diseño De Una Pequeña Central Hidroeléctrica Para El Municipio De Pisba, Boyacá. Trabajo de grado. Ingeniería Electromecánica. Duitama, Boyacá. Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia. 2017. 128p.
- ✚ Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura. [Sitio Web]. UNESCO [Consultado: 15 octubre de 2020]. Disponible en: < http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR_2015Facts_Figures_SPA_web.pdf >
- ✚ PONGUTÁ H. JUAN JOSÉ. Guía para el almacenamiento, manejo y conducción del agua. Bogotá D.C. 2005. Pag. 10.
- ✚ RADULOVICH, Ricardo; RODRIGUEZ, Roduel; MONCADA Orlando. Captación de agua lluvia en el hogar rural. Costa Rica. 1994. Pag. 3

- ✚ SIERRA, Fabio; SIERRA, Adriana y GUERRERO, Carlos. Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. En:
- ✚ TRUJILLO, Milena. Diseño De Una Pico Central Hidroeléctrica En La Localidad De Usme, Bogotá. Trabajo de grado. Ingeniería civil. Bogotá. D.C. Universidad Católica de Colombia. 2017. 133p.
- ✚ UPME. Unidad De Planeación Minero Energética. Hidroenergía. En: Atlas potencial hidro energético de Colombia. 1 ed. Bogotá D.C. 2015. p. 25-36.
- ✚ Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean. [Sitio Web]. [Consultado: 20 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.oas.org/usde/publications/unit/oea59e/ch12.htm>
- ✚ Scientists are harvesting water by building fog harps and zapping the air. [Sitio Web]. [Consultado: 25 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.theverge.com/2018/6/8/17441496/fog-harvesting-water-scarcity-environment-crisis>



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia