

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO ABASTECIDO POR UN MOLINO  
HIDRÁULICO ARTESANAL

AUTOR:  
JULIO CESAR SANCHEZ SUAREZ

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL  
BOGOTÁ, COLOMBIA  
2020

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO ABASTECIDO POR UN MOLINO  
HIDRÁULICO ARTESANAL.

AUTOR:

JULIO CESAR SANCHEZ SUAREZ

DIRECTOR (RA):

INGENIERA ALEXANDRA MORALES REY

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

BOGOTÁ, COLOMBIA

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Firma jurado 1

---

Firma del jurado 2

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado primeramente a DIOS el creador de todo, el cual me ha hecho posible el cumplir tantos sueños y metas, a mi pareja Laura Suarez Calle, la cual ha estado conmigo desde antes de iniciar con esta hermosa carrera, la cual ha sido un apoyo fundamental en todas las dificultades y adversidades, a mis padres los cuales me formaron con principios y valores los cuales formaron mi carácter y me enseñaron a luchar ante una sociedad tan fuerte y salvaje; a mis 2 (dos) hermanos y 1 (una) hermana: David Parra, Sebastián Sanchez y Eliana Sanchez, con los cuales crecí y hemos luchado para salir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a los profesores de la Universidad Antonio Nariño, los cuales me formaron y compartieron sus conocimientos y criterios, para mi formación académica durante cada semestre realizado y así mismo demostraron su apoyo incondicional respecto a las dificultades que surgieron a lo largo de mi carrera profesional, a mi familia por su apoyo incondicional, a la Coordinadora de la facultad y directora de este proyecto la Ingeniera Alexandra Morales Rey, por su entrega, compromiso y acompañamiento con todos los estudiantes de la facultad.

**TABLA DE CONTENIDO**

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	Objetivo General .....	3
2.2.	Objetivos específicos.....	3
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
4.	JUSTIFICACIÓN.....	9
5.	PERTINENCIA SOCIAL .....	14
6.	MARCO CONCEPTUAL.....	15
6.1	Hidrología.....	15
6.1.1.	Caudal.....	16
6.1.2.	Precipitación.....	17
6.1.3	Ley de Farguet.....	20
6.1.4	Hidrometría .....	20
6.2	Hidráulica .....	21
6.2.1.	Propiedades mecánicas del agua .....	21
6.2.2.	Energía hidráulica.....	22
6.2.3.	Reynols.....	23
6.2.4	formula de Chezy .....	25
6.2.5	Bernoulli.....	28

6.2.6 Segunda ley de Newton.....	29
6.2.7 Ecuación de momento .....	30
6.3 Captación de agua .....	32
6.4 Tanque de almacenamiento.....	32
6.4.2 Tanque de Almacenamiento.....	32
6.5 Conducción y distribución .....	34
6.5.1 Tuberías.....	34
6.5.2 Velocidad secciones rectas flujo laminar .....	35
6.5.3. Velocidad en flujos turbulentos.....	36
6.5.4. Perdida de carga en flujo laminar.....	37
6.5.5. Coeficiente de rozamiento de Darcy .....	38
6.5.6 Perdida de carga por accesorios .....	40
6.5.7. El riego .....	41
6.5.8. Riego por goteo .....	42
6.6. Características del cultivo .....	45
6.7. Protección de canal con rejilla.....	45
6.7. Requisitos para ocupación de cause.....	46
7. ESTADO DEL CONOCIMIENTO .....	48
8. SOLUCION DEL PROBLEMA .....	53
8.1 Ubicación del terreno (Zona de estudio).....	53

8.1. Prototipo construido (físico).....	55
8.3. Estación pluviométrica escogida.....	56
8.4. Caudal de demanda. ....	57
8.5. Distribución de sistema de riego. ....	57
8.6. Calculo y diseño de volumen de tanque de almacenamiento.....	60
8.7. Canal de captación y rejilla . ....	65
8.8. Geometría transversal del río Magdalena.....	66
8.9. Velocidad empírica sobre zona de estudio. ....	68
8.10. Cálculos respecto a diseños planteados.....	68
9. METODOLOGÍA .....	81
10. CONCLUSIONES. ....	83
11. REFERENCIAS .....	85
12. ANEXOS.....	93
Artículo.....	94



## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Municipio de Natagaima con sus veredas y límites.....	4
Figura 2. Comparación de datos del Tolima y de Natagaima. ....	5
Figura 3. Mapa que identifica el área a regar y la distancia del río.....	6
Figura 4. Plano representando curvas de nivel y punto de cota de fotogrametría.....	7
Figura 5. Representación de curvas de nivel.....	8
Figura 6. Precipitaciones mensuales del año 2010 al 2020, estación Tinajas.....	18
Figura 7. Precipitaciones mensuales del año 2010 al 2020, estación Anchique. ....	19
Figura 8. Canal abierto. ....	24
Figura 9. Método de curva integral para determinar el volumen de diseño.....	33
Figura 10. Molino medieval de rueda. ....	49
Figura 11. Tornillo de Arquímedes. ....	50
Figura 12. Bomba Barsha.....	51
Figura 13. Estaciones pluviométricas más cercanas al cultivo. ....	56
Figura 14. Vista general del sistema de riego y su topografía. ....	58
Figura 15. Área 1 de riego.....	58
Figura 16. Área 2 de riego.....	59
Figura 17. Área 3 de riego.....	59
Figura 18. Área 4 de riego.....	60
Figura 19 Suministro y consumo en 12 horas.....	62
Figura 20. Curva integral para el volumen del tanque. ....	62
Figura 21. Dimensiones de tanque corte lateral.....	64
Figura 22. Dimensiones tanque vista superior.....	64

Figura 23. Canal, molino y rejillas .....	65
Figura 24. Representación gráfica de corte transversal del río Magdalena.....	67
Figura 25. Espirales de manguera del molino con relación al agua captada.....	72
Figura 26. Molino, diseño y componentes .....	75
Figura 27. Molino propuesto con tubería PEBD de 1” .....	77
Figura 28, Perfil altimétrico terreno.....	80

### **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1. Valores en porcentajes de servicios básicos del Tolima y de Natagaima .....	5
Tabla 2. Hectáreas cultivadas de cacao de los municipios más relevantes del Tolima.....	10
Tabla 3. Hectáreas potenciales y áreas cubiertas con riego .....	11
Tabla 4. Tipos de riego más utilizados.....	12
Tabla 5. Caudales mínimos y máximos mensuales, de los años comprendidos del 2000 al 2020 del río Magdalena.....	16
Tabla 6. Historial de precipitaciones mensuales de la vereda de tinajas, del año 2010 al año 2020, estación Tinajas.....	17
Tabla 7. Historial de precipitaciones mensuales de la vereda de tinajas, del año 2010 al año 2020, Estación Anchique.....	19
Tabla 8. Propiedades mecánicas del agua .....	21
Tabla 9. Coeficiente de rugosidad de Manning.....	26
Tabla 10. Constante en función de capacidad K .....	34
Tabla 11. Perdida de carga media y coeficiente de perdida de carga (K) .....	40

Tabla 12. Coeficiente de pérdida de carga para contracción brusca y ensanchamiento.....	41
Tabla 13. Diámetros para Tuberías a presión de PVC DE 1 y 3/4 de pulgada .....	43
Tabla 14. Presión y diámetro para tubería PEBD .....	43
Tabla 15. Tipos de goteros con caudal nominal y presión de trabajo. ....	44
Tabla 16. Requisitos para ocupación de cauce Cortolima .....	47
Tabla 17. Individuos arbóreos por hectárea y caudal de diseño.....	57
Tabla 18. Tabla para determinar el volumen del tanque de almacenamiento .....	61
Tabla 19. Volumen total del tanque .....	63
Tabla 20 Datos geométricos transversales del río Magdalena.....	66
Tabla 21. Toma de velocidades con método empírico.....	68
Tabla 22. Velocidad angular .....	71
Tabla 23. Cantidad de volumen captado en un tiempo determinado. ....	73
Tabla 24. Datos obtenidos con molino artesanal.....	78
Tabla 25. Datos asumidos con aumento de diámetro.....	78

### **LISTADO DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Lote destinado para proyecto en tinajas. ....	53
Ilustración 2. Lugar seleccionado para la instalación del molino. ....	54
Ilustración 3. Evidencia fotográfica de recorrido en zona. ....	54
Ilustración 4. Prototipo de molino artesanal.....	55

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la humanidad, el agua ha sido uno de los elementos más importantes para la vida, tanto así que ha llevado sociedades y civilizaciones a vivir cerca de cuerpos de agua y su misma necesidad por obtenerla, ha llevado a la humanidad a utilizar diferentes métodos para la captación y obtención de ella.

En la actualidad, la necesidad de la obtención del agua para la hidratación, la agricultura, la sanidad, los alcantarillados, la cría de animales, la piscicultura, entre otras necesidades, ha aumentado el consumo del agua y aun mas es el aumento proporcional con el consumo del mercado y el crecimiento exponencial desmedido de la humanidad, ha generado que el aumente el consumo del agua y con ello la contaminación a la misma.

Los métodos más utilizados para la obtención del agua en los municipios sin acueducto son: los pozos profundos y aljibes, pero estos métodos no son totalmente sanos, ya que la calidad de agua extraída no garantiza las condiciones mínimas para que sea apta para el consumo humano.

El siguiente proyecto se desarrollará en la vereda de Tinajas, municipio de Natagaima departamento del Tolima, en el cual desarrollará un molino artesanal el cual será el instrumento principal para la captación del agua, la cual se obtendrá directamente del rio magdalena, la cual será dirigida por tuberías llegando a un tanque de almacenamiento, el cual distribuirá a una red de sistema de riego, para finalmente hidratar individuos arbóreos de cacao, buscando el beneficio de la comunidad.

Se determinará el mejor molino el cual se adapte a las condiciones propias del proyecto, determinando sus cualidades, funciones y complejidad y se escogió el molino hidráulico que más se adaptó al proyecto tanto en su simplicidad como su funcionalidad.

Después de determinar el molino hidráulico a utilizar, se realizarán los diseños correspondientes, para la fabricación e implementación de este, con esto se busca que la persona interesada de implementar este sistema lo pueda realizar y sustituir la gasolina, el ACPM o la electricidad, e implementar un sistema de captación que implemente la energía hidráulica con un sistema mecánico.

Determinando el caudal necesario, se determinará el diámetro de la tubería utilizar según la necesidad del consumo, la velocidad del fluido, el material de la tubería a implementar, el volumen del tanque de almacenamiento, entre otros factores que al desarrollo de este proyecto se presentaran.

También se expondrá por que se decidió escoger la planta del cacao, los diferentes métodos de siembra, las condiciones atmosféricas y ambientales necesarias para la correcta cosecha. Pero también se determinará la calidad del agua del cuerpo de agua (Rio Magdalena) del cual se captará el agua y determinar si esta es apropiada para el riego del cacao, o determinar si es nocivo y no apto.

## 2. OBJETIVOS

**2.1. Objetivo General:** desarrollar un modelo físico a escala de un molino artesanal, el cual pueda suministrar de manera mecánica agua a una cota superior y abastecer un sistema de riego por goteo.

### 2.2. Objetivos específicos:

- Utilizar un modelo básico relacionado con molinos, diseñar un prototipo de un molino que mejor se adapte a este proyecto.
- Determinar el caudal de un cuerpo de agua, particularmente el río Magdalena, en la vereda Tinajas del municipio de Tinajas, para incluir datos relacionados con el uso del molino artesanal, además determinar el área que obtendrá con el molino.
- Diseñar un sistema de riego para un área determinada con el caudal captado.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el municipio de Natagaima-Tolima existen 35 veredas, una de ellas se encuentra a 18 kilómetros del municipio llamada Tinajas en la cual se pretende realizar el proyecto.

Figura 1. Municipio de Natagaima con sus veredas y límites.



*Nota de imagen: mapa del municipio de Natagaima con sus respectivas veredas.  
Fuente: imagen tomada de la página de (Alcaldía de Natagaima Tolima, 2017).*

En esta vereda cuenta con suministro eléctrico, pero no cuenta con acueducto y alcantarillado. El suministro del agua se hace por medio de pozos, aljibes, o pequeños embalses los cuales de manera tradicional y por gravedad, suministran por medio de mangueras el agua. A continuación, se presenta una tabla (tabla 1) de datos de servicios públicos básicos recopilados en el DANE del año 2018.

Tabla 1. Valores en porcentajes de servicios básicos del Tolima y de Natagaima

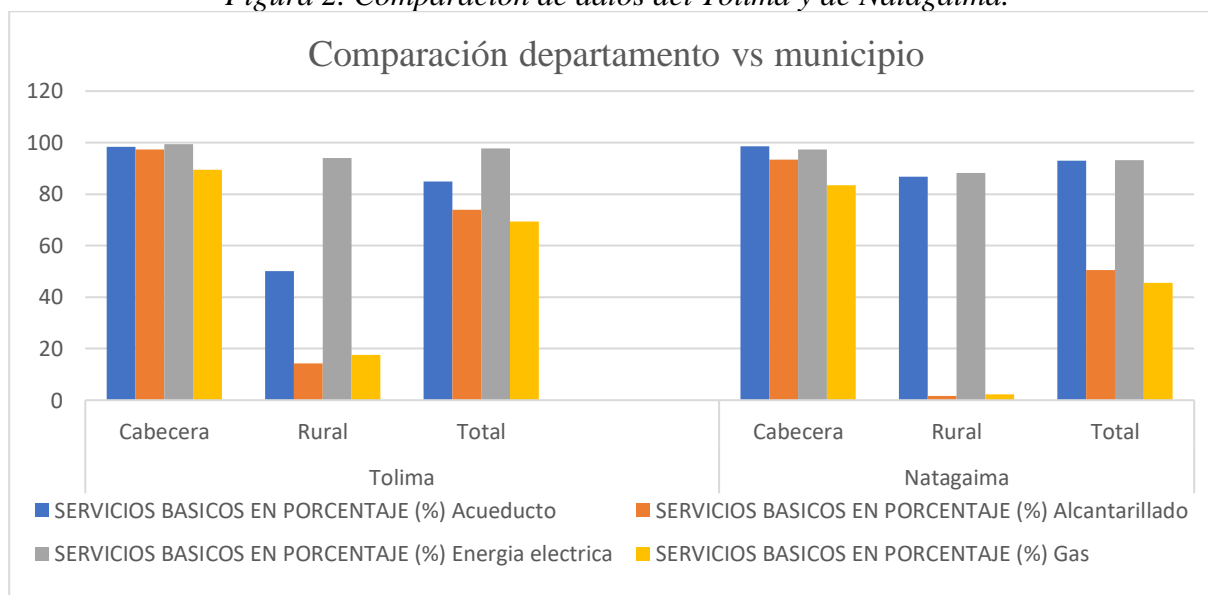
SERVICIOS BASICOS EN PORCENTAJE (%)					
		Acueducto	Alcantarillado	Energía eléctrica	Gas
<b>Tolima</b>	Cabecera	98,45	97,34	99,32	89,49
	Rural	50,11	14,21	93,94	17,49
	Total	84,88	74,01	97,81	69,28
<b>Natagaima</b>	Cabecera	98,55	93,49	97,43	83,49
	Rural	86,78	1,69	88,28	2,33
	Total	93,04	50,5	93,15	45,48

Nota: la anterior tabla muestra los porcentajes correspondientes al censo nacional poblacional del año 2018.

Fuente: datos recopilados de (DANE INFORMACION PARA TODOS, 2020)

Con los datos anteriores presentados en la tabla 1, a partir de ella se presenta la siguiente grafica (figura 2) en donde se puede ver la relación de los valores de los servicios básicos en donde se puede concluir que sector rural tanto en el departamento como en el municipio, hay una deficiencia de cobertura en la cual se resalta el cubrimiento de alcantarillado y de gas.

Figura 2. Comparación de datos del Tolima y de Natagaima.



Nota: la anterior figura fue realizada es de elaboración propia, con los datos al censo nacional poblacional del año 2018.

Fuente: datos recopilados de (DANE INFORMACION PARA TODOS, 2020)



La actividad económica más importante del municipio para los habitantes de esta zona es la actividad agropecuaria, reflejando así la importancia del agua en estas actividades. Para estas actividades los sistemas de riego son importante ya como se evidencio en la visita realizada el día 6 de octubre de 2019, se determinó que el agua de irrigación es un limitante, ya que, aun teniendo fuentes de abastecimiento, extraerlas y distribuirlas generan un condicionante a no cultivar o cultivar en pequeñas proporciones.

Los tiempos de sequía se extienden afectando a si la producción y economía. Como se evidencia en el siguiente artículo: “sequia, un problema de perspectiva y gestión, desde el inicio del tiempo, la escases de agua determinaba el desarrollo humano, las grandes hambrunas han ocasionado la movilización de pueblos enteros incluso hasta su desaparición” (Velasco, Ochoa, & Gutiérrez, 2005) .

A continuación, se representará la ubicación del río magdalena, con respecto al área en a realizar el riego, cabe aclarar que en estas 2 hectáreas hacen parte de 10 hectáreas que pertenecen a mi familia.

*Figura 3. Mapa que identifica el área a regar y la distancia del rio.*

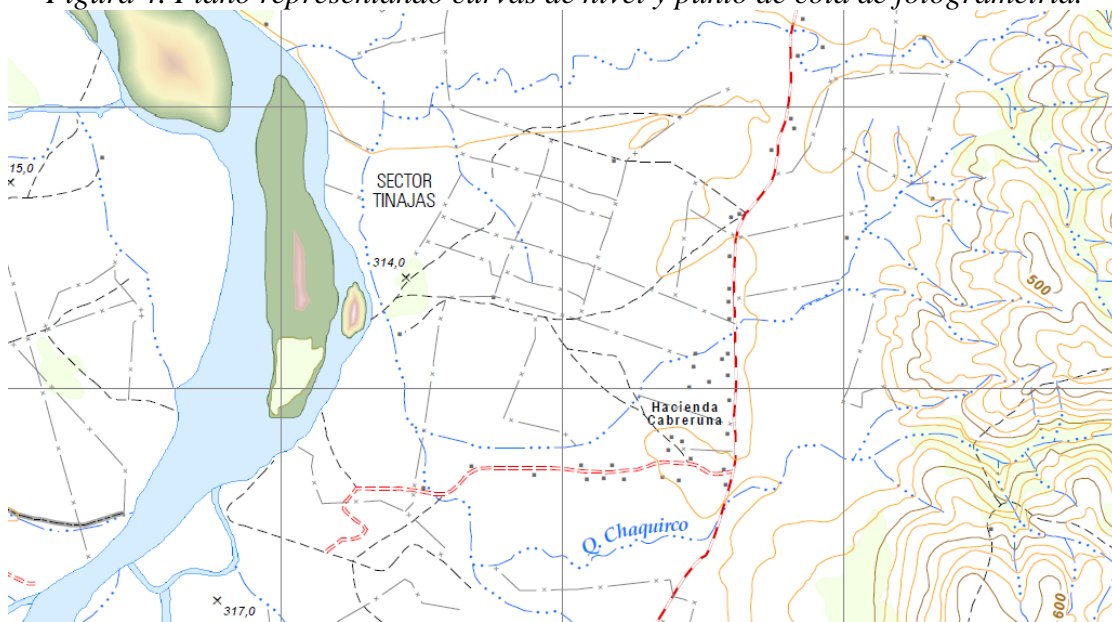


*Nota de imagen: figura propia, con ayuda de Google Earth. En la figura 3, se puede apreciar el área que necesita ser regada y la distancia del rio respecto a ella.*

Captando el agua directamente del río, esta agua se filtrará y el molino hidráulico artesanal de manera mecánica, suministrará el agua por medio una tubería a una cota superior hasta un tanque de almacenamiento de agua y este a su vez distribuirá el agua por el sistema de riego al cultivo de cacao.

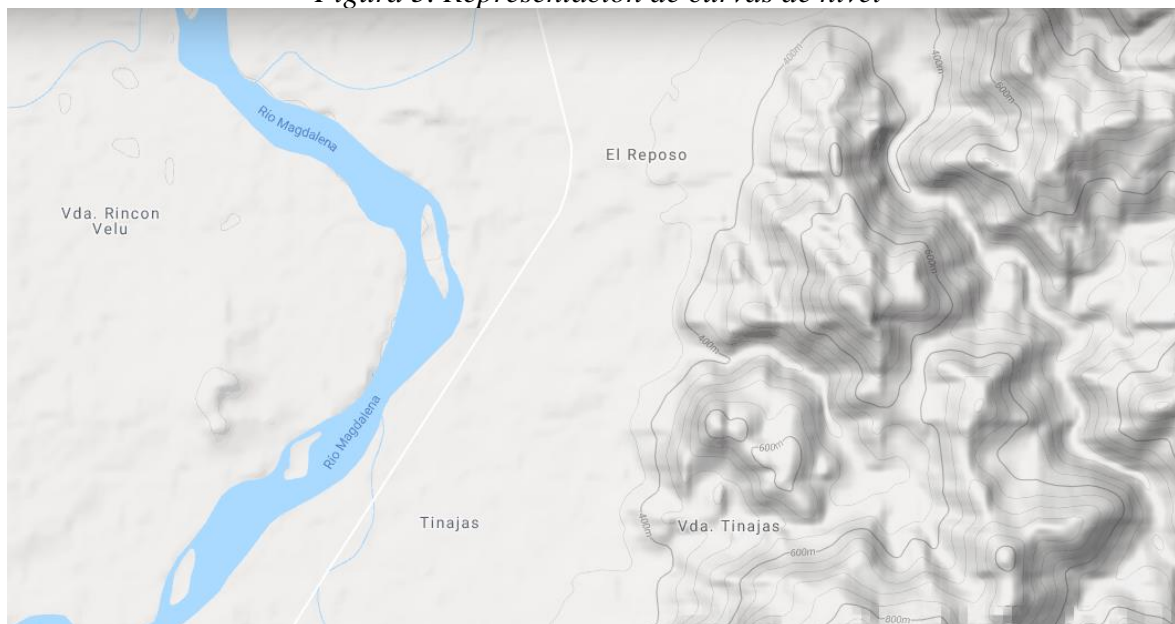
Dicho lo anterior si este proyecto logra captar el agua de una cota inicial y suministrarla a una cota final superior a esta, se podría emplear este sistema no solo para el riego si no para muchos proyectos más los cuales necesitan el abastecimiento del agua, pero son afectados por la topografía del terreno, pero inicialmente se suministrará a un cultivo de cacao de 2 (dos) hectáreas, la cual presenta la siguiente topografía:

*Figura 4. Plano representando curvas de nivel y punto de cota de fotogrametría.*



*Nota de imagen: figura tomada del plano 283IIC del INSTITUTO GEOGRÀFICO AGUSTÌN CODAZZI 2019,*

*Figura 5. Representación de curvas de nivel*



*Nota de imagen: figura tomada del mapa de imagen hentes “  
<https://imagehunter.apollomapping.com/>, -*

Anteriormente con la finalidad de describir un poco más el terreno, se anexaron dos fuentes para determinar las curvas de nivel, pero en los dos casos la información es escasa, por tal motivo se realizará una descripción topográfica en el lugar en cuestión, ya que, por las dimensiones e información necesaria, es mínima.

A continuación, presentamos 3 (tres) preguntas, las cuales con el siguiente proyecto se de pretenden solucionar:

- 1) ¿El sistema de riego abastecido por un molino hidráulico artesanal podrá reemplazar la motobomba o electrobomba?
- 2) ¿Qué caudal captado se necesitará para cubrir una hectárea?
- 3) ¿Porque e sistema de riego es por goteo y no por otro sistema de riego?

#### 4. JUSTIFICACIÓN

El agua como elemento vital para la vida, también lo es para la agricultura. Según La organización de las naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura, “La agricultura impulsa la economía de la mayoría de los países en desarrollo{ (FAO, s.f.).

Según el Periódico El Campesino, a importancia de la agricultura para el desarrollo económico del Colombia en el área rural, realiza un avance económico, disminuye la pobreza, genera alimentos y se obtiene un beneficio en cuanto el desarrollo sostenible del país (Sandoval, 2016).

Como lo demuestra la historia de este territorio, la población de Natagaima-Tolima, ha sufrido gran cantidad de conflictos armados, según la PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) “la población indígena de la región ha sido víctima por el Bloque Tolima de las AUC (Autodefensas Unidas de Colombia) de ser auxiliares de las FARC-EP (Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia) representada por la Columna Móvil Daniel ortega (González Arias & Gómez Alarcón, 2015, pág. 29). Lo anterior demuestra cómo esta zona se ha visto afectada en cuanto a su desarrollo económico y este proyecto pretende aportar un sistema que pueda ser empleado buscando dar solución a un problema tan común.

Sumado a esto según el anterior párrafo, “la violencia a causa de los conflictos armados”, se entrevistó un habitante de la vereda de tinajas el Señor Abundio Carrillo “, las altas temperaturas, también afectan la disminución de caudales de los diferentes cuerpos de agua, siendo como principal fuente de agua el rio magdalena”.

Este proyecto busca dar una herramienta a este sector vulnerable, el cual depende del campo, para que puedan reemplazar las motobombas empleadas para los sistemas de riego y con

ello poder minimizar costos empleando un sistema mecánico el cual solo necesitara de la energía hidráulica producto del río.

El cacao es un individuo arbóreo el cual en el departamento del Tolima se produce 9259 hectáreas, para un total de 3.333 toneladas por año, el cual tiene un valor cercano de los \$ 11.914'000.000 (once mil novecientos catorce millones de pesos) (Ministerio de Agricultura de Colombia, 2019), a continuación comparara la producción de cacao en el Tolima respecto a al municipio de Natagaima en la tabla 2.

*Tabla 2. Hectáreas cultivadas de cacao de los municipios más relevantes del Tolima.*

	<b>Hectáreas</b>	<b>porcentaje respecto al departamento</b>
<b>Departamento de Tolima</b>	9.259	100%
<b>Natagaima</b>	29	0,31%
<b>Alvarado</b>	308	3,33%
<b>Ataco</b>	999	10,79%
<b>Cunday</b>	810	8,75%
<b>Falan</b>	555	5,99%
<b>Rioblanco</b>	800	8,64%
<b>Planadas</b>	735	7,94%
<b>Purificación</b>	287	3,10%
<b>Melgar</b>	326	3,52%

*Nota:* información tomada de

<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/PDEA's%20Aprobados/PDEA%20Tolima.pdf>.

De la tabla anterior (Tabla 2), el municipio de Natagaima es apto para la producción de cacao, pero es uno de los municipios del Tolima con menos producción de cacao del departamento, por eso es importante impulsar este cultivo ya que es una cosecha que genera grandes ingresos.

La implementación de riego en Colombia aún sigue siendo muy pequeña, como se expresa en la tabla 3, la cobertura del potencial de riego es del 14.30%, dejando así un 85.70% de potencial de riego sin ser cubierta con este.

*Tabla 3. Hectáreas potenciales y áreas cubiertas con riego*

<b>País Colombia</b>	<b>Superficie potencial de riego (miles de ha)</b>	<b>Superficie total cubierta con riego (miles ha)</b>	<b>Cobertura del potencial (porcentaje)</b>
<b>Año de reporte</b>	De 1962 a 2013	2011	
<b>Cantidad</b>	7.600	1087	14.30

*Nota:* la siguiente información de recopilo de la siguiente fuente: FAO, (2011;2013)

La vereda en la cual se realizara el proyecto, es una vereda en la cual su comunidad a pesar de tener varios cuerpos de agua cercanos, nace la problemática del abastecimiento y como se mencionaba inicialmente no cuenta con ningún tipo de acueducto que pueda abastecer a estas comunidades, por lo cual las comunidades utilizan diferentes métodos para su abastecimiento, entre los más utilizados los pozos profundos y los aljibes, dichos métodos son utilizados para el consumo humano, la cría de animales y la agricultura. Inicialmente se plantea el abastecimiento de agua a un cultivo de cacao, buscando la obtención de resultados y con ello determinar si su implementación satisface esta necesidad y si se puede emplear para otras finalidades respecto al abastecimiento del agua.

¿Por qué se escogió el sistema de riego por goteo? El sistema de riego a escoger es indispensable ya que cada sistema cumple con ciertos requerimientos y especificaciones, en la siguiente tabla (tabla 4), se comparará diferentes sistemas de riego los cuales son los más conocidos e implementados en el sector de la agricultura y con un breve resumen de cada uno con su eficiencia y sus características se expondrá porque esta selección.

*Tabla 4. Tipos de riego más utilizados*

TIPOS DE RIEGO	EFICIENCIA	CARACTERISTICAS
Tendido o inundación	30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Poca pendiente</li> <li>*Gran cantidad de agua</li> <li>*Grandes extensiones de tierra</li> </ul>
Surcos	50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Suelo parejos</li> <li>*Sin desniveles</li> <li>*Verificar tipo de suelo</li> <li>*Para más extensión suelos arcillosos</li> <li>*Gran cantidad de agua</li> </ul>
Aspersión	70%	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Sistema mecanizado</li> <li>*Necesita presión</li> <li>*No necesita nivelación el suelo</li> <li>*Con presión adecuada no genera erosión</li> <li>*Necesita de un buen diseño para su optimo uso</li> </ul>
Goteo	90%	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Entrega pequeñas cantidades de agua</li> <li>*Entrega agua de forma localizada</li> <li>*Se adapta a cualquier tipo suelo</li> <li>*Da una eficiencia que con ningún otro sistema de riego se puede conseguir</li> </ul>

*Nota:* la anterior tabla muestra la eficiencia y las características más relevantes. La anterior información se extrajo de (*Ministerio de Agricultura y riego, 2015*)

Si bien, el sistema de riego de goteo se escogió principalmente por la eficiencia tan alta, el aprovechamiento del agua ya que, al ser localizada, entregara directamente a la planta de cacao; también por su volumen de agua, al entregar volúmenes pequeños, la exigencia del caudal de demanda va a ser menor que otros sistemas de riego.

Esta vereda en los tiempos de sequía se ve afectada tanto en su economía como en su medio ambiente. Recientemente se presentó a base de dicha sequía, un incendio como lo informo la cadena

radial de caracol radio, “más de 4000 hectáreas de vegetación consumidas producto de 44 incendios forestales, los cuales han sido atendidos por organismos de emergencias,...,las temperaturas están en el orden de los 45°C (grados centígrados) y se ha reflejado reducción de fuentes hídricas” (Caracol Radio, 2019). Según (Cortolima, 2019), durante las 2 primeras semanas del mes de agosto, en este municipio se han consumido 900 hectáreas por estos incendios”.

Al ser una vereda la cual depende directamente de la materia prima, los incendios mencionados anteriormente afectan directamente la economía y el consumo, esto producto de las faltas de lluvia y clima con altas temperaturas, un proyecto como el que se desarrolla actualmente podría llegar a hacer frente a estos incendios ya que mitigando la sequía con el suministro de agua y hasta se podría utilizar para hacerle frente a los incendios.



## **5. PERTINENCIA SOCIAL**

Este proyecto busca el beneficio del primer sector económico, para que pueda implementarse en los lugares más vulnerables, donde no se encuentre el suministro de energía eléctrica o combustibles, o sea de difícil su acceso.

Se plantea que su implementación sea inicialmente en la vereda de tinajas municipio de Natagaima, buscando con esta implementación el bombeo de agua hasta su finalidad (cultivo), beneficiando y buscando que su implementación se expanda.

También aportar un poco al sector de la investigación para que pueda implementarse, complementarse y mejorarse para optimizar su implementación y procesos.

## 6. MARCO CONCEPTUAL

En Natagaima municipio del departamento del Tolima hay 35 veredas, entre una de ellas está la vereda de tinajas, vereda en la cual el río Magdalena se encuentra al costado occidental, esta vereda tiene 5.289 hectáreas, la cual representa el 6.09% de hectáreas totales del municipio (Alcaldía de Natagaima Tolima, 2003)

Natagaima pertenece al departamento del Tolima, su extensión total corresponde a 862km<sup>2</sup>, cuya extensión urbana corresponde a 196km<sup>2</sup> y su extensión rural corresponde a 766km<sup>2</sup> (área rural corresponde al 88.86%); su temperatura media es de 29°C y su altura en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) es de 326 (Alcaldía de Natagaima Tolima, 2017).

En Natagaima las principales actividades económicas son: la cría y engorde de vacunos, el cultivo de algodón (en 1998 se perdieron 120ha por falta de agua), cultivo de arroz, limón, plátano, cría y engorde porcino y piscicultura (Alcaldía de Natagaima Tolima, 2017).

Este municipio solo presenta sistema de riego por gravedad en la vereda de Guasimal la cual cubre un total de 93 hectáreas y en la vereda de Anarco la cual cubre aproximadamente 151 hectáreas (Alcaldía de Natagaima Tolima, 2017).

A continuación, se expondrá cada uno de los factores teóricos los cuales permitirán el desarrollo del proyecto, estos factores se dividen en las siguientes temáticas: hidrología, hidráulica, captación de agua, almacenamiento, conducción, distribución y el cultivo de cacao:

### 6.1 Hidrología

La fuente se refiere a los espacios naturales en donde se derivan los diferentes caudales para suplir las diferentes necesidades (Revista ARQHYS, 2012). Para este proyecto la fuente es el río Magdalena.

### 6.1.1. Caudal

Para tener información del caudal mínimo y máximo del río, con el fin de conocer un poco el comportamiento del río, se recopiló información del año 2000 al año 2020 del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) de los caudales mensuales mínimos y caudales máximos, en la tabla 5.

*Tabla 5. Caudales mínimos y máximos mensuales, de los años comprendidos del 2000 al 2020 del río Magdalena.*

CAUDALES (m <sup>3</sup> /s)		
AÑO	MINIMO ANUAL	MAXIMO ANUAL
2000	269	2024
2001	224	2377
2002	192	1830
2003	190	1893
2004	231	1672
2005	213	1959
2006	209	1959
2007	230	2365
2008	209	2576
2009	221	2747
2010	152	2494
2011	224	3867
2012	248	2148
2013	187	1899
2014	197	1878
2015	197	2093
2016	154	1256
2017	157	2322
2018	183	1435
2019	103	1743
2020	115	1478

*Fuente: información tomada del (IDEAM, 2020).*

### 6.1.2. Precipitación

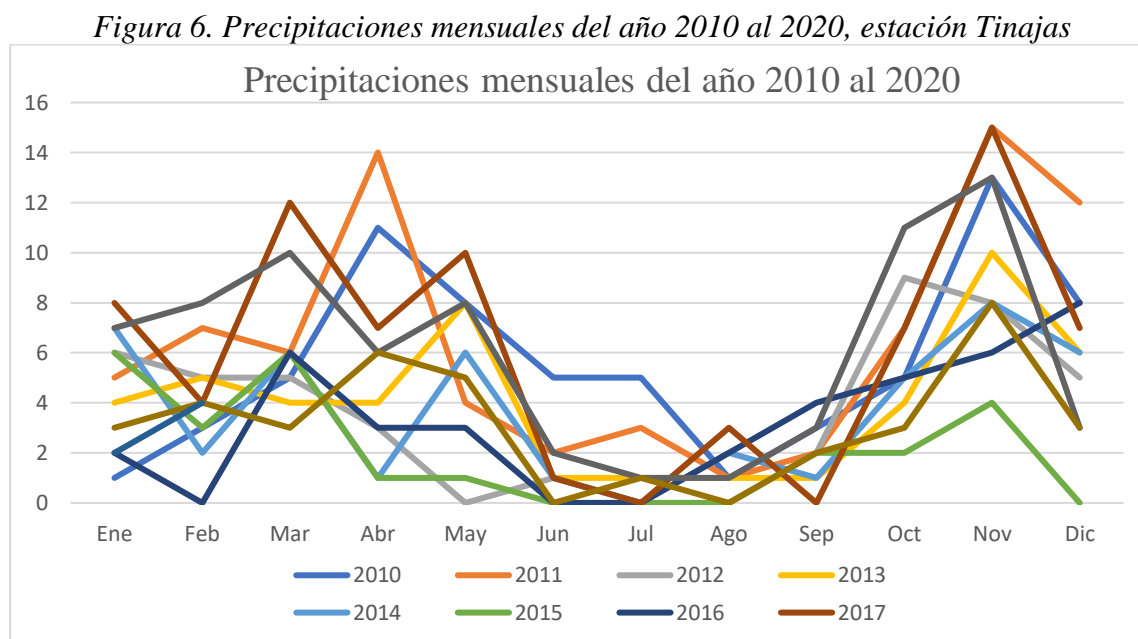
Debido al cambio climático y a su variabilidad, se han visto alterado varios factores meteorológicos, uno de dichos factores es la precipitación la cual directamente influye en la disponibilidad hídrica, la cual afectan el sector agrícola y los ecosistemas. Por lo tanto para disminuir los impactos negativos que se generen, se requiere la recopilación y el análisis del histórico de las precipitaciones y poder ver e interpretar el comportamiento de las lluvias (Carvajal Escobar, Quintero Angel, & Puertas Orozco, 2011), Para esto se realizó la recolección de datos históricos de las precipitaciones, del año 2010 al año 2020 como lo muestra la tabla 6, y así determinar la precipitación anual y los meses en donde la intensidad de lluvias es baja y alta.

*Tabla 6. Historial de precipitaciones mensuales de la vereda de tinajas, del año 2010 al año 2020, estación Tinajas.*

ESTACION: TINAJAS [21150030]													
Longitud -75.0625    Latitud 3.57													
Altitud 290													
Fecha de instalación de estación: 15 de septiembre de 1975													
Numero de lluvias por meses													
	Precipitación anual (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	1858	1	3	5	11	8	5	5	1	3	5	13	8
2011	2189	5	7	6	14	4	2	3	1	2	7	15	12
2012	1207	6	5	5	3	0	1	0	0	2	9	8	5
2013	1374	4	5	4	4	8	1	1	1	1	4	10	6
2014	1308	7	2	6	1	6	1	0	2	1	5	8	6
2015	604	6	3	6	1	1	0	0	0	2	2	4	0
2016	986	2	0	6	3	3	0	0	2	4	5	6	8
2017	1841	8	4	12	7	10	1	0	3	0	7	15	7
2018	1778	7	8	10	6	8	2	1	1	3	11	13	3
2019	1290	3	4	3	6	5	0	1	0	2	3	8	3
2020	140	2	4										

*Fuente: datos recopilados de (IDEAM, 2020)*

A continuación, se presenta una gráfica de líneas (figura 6) la cual obedece a los resultados obtenidos en la tabla 6.



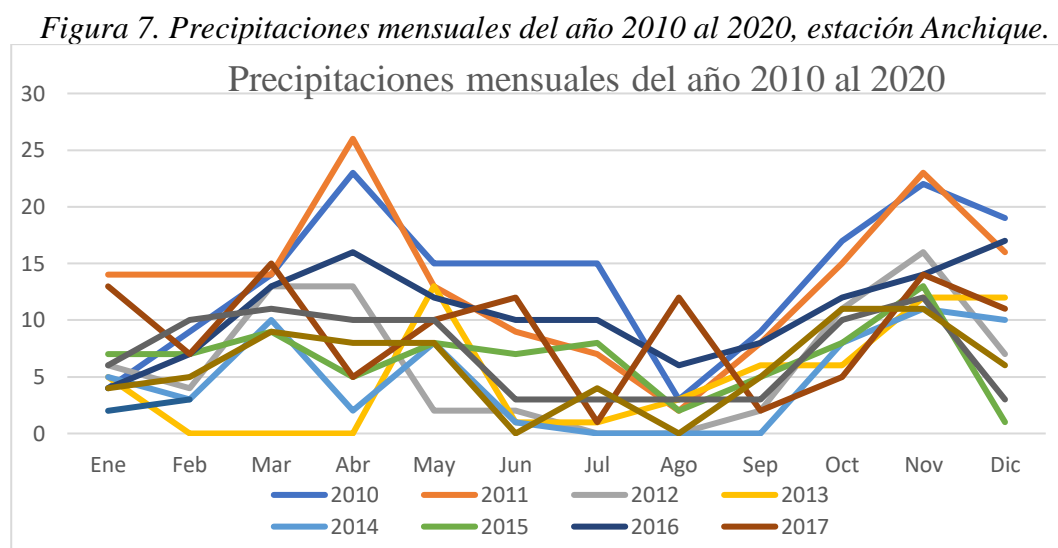
De la figura 6, se puede inferir que en los meses de marzo a mayo y de octubre a diciembre se presenta mayor índice de precipitación y en los meses de enero a febrero y de junio a agosto, son meses donde son muy pocas o nulas las lluvias, lo cual representa que se presenta el verano y en estos meses son donde los cultivos presentan mayor necesidad de agua.

Tabla 7. Historial de precipitaciones mensuales de la vereda de tinajas, del año 2010 al año 2020, Estación Anchique.

ESTACION: ANCHIQUE [21135030]													
Longitud -75.109 Latitud 3.573													
Altitud 415													
Fecha de instalación de estación: 15 de diciembre de 1963													
Numero de lluvias por meses													
	Precipitación anual (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	2014	4	9	14	23	15	15	15	3	9	17	22	19
2011	2120	14	14	14	26	13	9	7	2	8	15	23	16
2012	1263	6	4	13	13	2	2	0	0	2	11	16	7
2013	1113	5	0	0	0	13	1	1	3	6	6	12	12
2014	1187	5	3	10	2	8	1	0	0	0	8	11	10
2015	738	7	7	9	5	8	7	8	2	5	8	13	1
2016	1310	4	7	13	16	12	10	10	6	8	12	14	17
2017	1747	13	7	15	5	10	12	1	12	2	5	14	11
2018	1280	6	10	11	10	10	3	3	3	3	10	12	3
2019	1088	4	5	9	8	8	0	4	0	5	11	11	6
2020	46	2	3										

Fuente: datos recopilados de (IDEAM, 2020)

A continuación, se presenta una gráfica de líneas (figura 7) la cual obedece a los resultados obtenidos en la tabla 7.



Los resultados de las precipitaciones de acuerdo con la estación de Anchique, refleja una dispersión grande, aunque se destacan unos picos, los cuales representan mayor intensidad de lluvia, los cuales comprenden los meses de marzo, abril, mayo octubre y noviembre

Para conocer los diferentes componentes geométricos y de comportamiento del río Magdalena es necesario conocer la batimetría o lecho de río, el cual es un factor muy importante ya que de este se generan aplicaciones hidráulicas e hidrológicas en las cuales se encuentran: modelación de inundaciones, movimiento de sedimentos, nutrientes, cartografía del río, etc. Dentro de la batimetría podemos determinar el alcance del río, longitud, anchura media, profundidades, pendiente del canal, curvatura del río, entre otros factores los cuales pueden caracterizar geométricamente el río (Sayan, Siddhart, & Venkatesh, 2019).

### **6.1.3 Ley de Farguet**

Las leyes de Farguet, básicamente son conclusiones empíricas, basadas en una aproximación la cual detalla la morfología del meandro de un río, cuya finalidad es la de la aplicación encauzamiento. La observación del autor consiste en la relación entre la curvatura en la planta del cauce de un río y la pendiente del fondo de él. El cual concluye en el grado de libertad horizontal respecto a la planta y el grado vertical referido al perfil (Vide, 2006).

### **6.1.4 Hidrometría**

La hidrometría es una rama de la hidráulica que tiene como finalidad medir y analizar los volúmenes de agua los cuales cruzaran por una sección transversal de un cuerpo hidráulico, ya sea por gravedad o a presión, esta tiene como finalidad conocer el volumen disponible del lugar natural y determinar la eficiencia o eficacia de la fuente.

Dicho análisis, tiene como finalidad, dar una mejor panorámica del recurso hídrico en un determinado lugar, tal que permite un mejor acercamiento y poder realizar una planeación más detallada, con el objetivo de mejorar la distribución y el trabajo en este. En la implementación de una red hidrométrica la cual se utilizan puntos utilizados para la medición de agua, el cual se ubican estratégicamente dichos puntos en un sistema hidráulico, con la finalidad de constituir una red la cual permita la relación e interpretación de la información que se obtiene. (Perevochtchikova & Garcia Jimenez, 2006).

## 6.2 Hidráulica

### 6.2.1. Propiedades mecánicas del agua

Para determinar los diferentes fenómenos físicos, cabe precisar las diferentes propiedades mecánicas del agua, por consiguiente, en la tabla 8, se presentan algunas características del agua, a diferentes temperaturas:

*Tabla 8. Propiedades mecánicas del agua*

Temperatura °C	Densidad UTM/m <sup>3</sup>	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica (kg. s/m <sup>2</sup> )	Tensión superficial (kg/m)	Presión de vapor (kg/cm <sup>2</sup> )	módulo de elasticidad volumétrico (kg/cm <sup>2</sup> )
15	101.88	999.12	11.63x10 <sup>-5</sup>	0.00751	0.0176	22000
20	101.79	998.23	10.25x10 <sup>-5</sup>	0.00738	0.023	22400
25	101.67	997.07	9.12x10 <sup>-5</sup>	0.00735	0.0327	22800
30	101.53	995.68	8.17x10 <sup>-5</sup>	0.00728	0.0439	23100
35	101.37	995.11	7.37x10 <sup>-5</sup>	0.00718	0.0401	23200
40	101.18	992.25	6.69x10 <sup>-5</sup>	0.00711	0.078	23400

*Fuente: adoptado de (Renald V, 1995).*



### 6.2.2. Energía hidráulica

La Energía hidráulica en términos generales, se refiere a la generación de la energía con el aprovechamiento de la corriente de agua, dicha energía es renovable y es la más utilizada a nivel mundial con el propósito de generar electricidad (BUN-CA Biomass Users Network, 2002, pág. 6). Para este proyecto la energía hidráulica generara el movimiento en las aspas del molino para que este gire y con un diseño mecánico de este, genere el bombeo de agua.

Generalmente cuando el rio es de grandes dimensiones (FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACION AGRICOLA, 2004), su ancho de rio también es muy grande y debido a esto el lecho no es muy estable, toca realizar una canalización de este (Lopez Cualla, 2003)

Para captar el agua, se canalizará el flujo en un canal abierto el cual es sometido a la presión atmosférico, el movimiento del flujo se genera por la pendiente que hay en el canal y de la superficie del líquido (Renald V, 1995).

Para determinar la potencia que se requiere, se implementa la siguiente ecuación (Renald V, 1995).

$$P = wQH$$

Donde:

$P$  = Potencia

$w$  = peso especifico

$Q$  = Caudal en peso ( $m^3/s$ )

$H$  = energía (kg.m)

### 6.2.3. Reynolds

Para para este proyecto el flujo será no uniforme, ya que la profundidad del rio varia igual que el nivel de este y este se puede caracterizar en flujo no uniforme tranquilo, rápido o crítico. Para determinar si el flujo en el canal es laminar o turbulento, se determina el número de Reynolds, el cual depende de la geometría, velocidad del flujo, temperatura, rugosidad de la superficie y el fluido (Çengel & Cimbala, 2012), la siguiente es la ecuación para determinar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}}$$

$$Re = \frac{V_{prom} D}{\nu}$$

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Para secciones circulares el radio hidráulico ( $D_h$  O  $D$ ) es:

$$D_h = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} = D$$

$V_{prom}$  = Velocidad de flujo promedio (m/s)

$D$  = Diámetro (m)

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

$\rho$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$D_h$  = Diámetro hidráulico

$a$  = Longitud vertical (m)

$b$  = Longitud horizontal (m)

$\mu$  = Viscosidad dinámica (N.S/m<sup>2</sup>)

$Re \leq 2300$  --> Flujo laminar

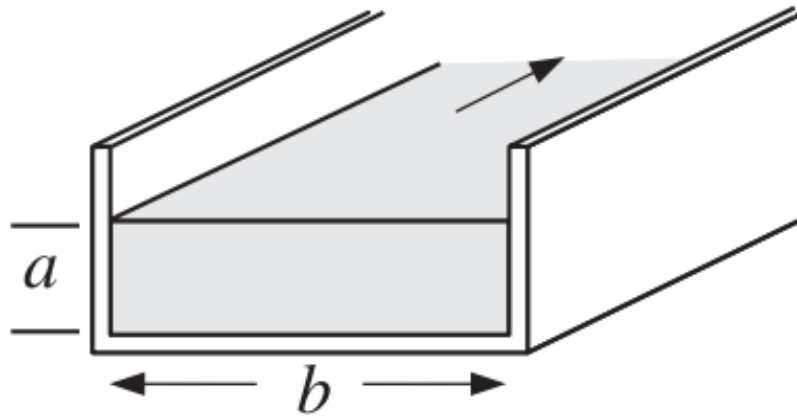
$2300 \leq Re \leq 4000$  --> Flujo transicional

$Re \leq 4000 \rightarrow$  Flujo turbulento

cuando el canal es abierto, para determinar el diámetro hidráulico se relacionan las paredes que quedan en tocar el fluido y se determina con la siguiente ecuación:

$$Dh = \frac{4ab}{2a + b}$$

Figura 8. Canal abierto.



Fuente: imagen tomada de (Çengel & Cimbala, 2012).

Pero para determinar el flujo laminar en canales abiertos (Renald V, 1995):

$$Re = \frac{4RV}{v}$$

$Re \leq 2000 \rightarrow$  Flujo laminar

$10000 \leq Re$

Donde:

R = Radio hidráulico

V = Velocidad

v = Viscosidad

### 6.2.4 formula de Chezy

Para determinar la velocidad media para el flujo uniforme y permanente, se implementará la fórmula de Chezy (Renald V, 1995):

$$V=C\sqrt{RS}$$

Donde:

V = Velocidad media (m/s)

C = Coeficiente

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente superficial del agua o línea de fondo

Para este determinar el coeficiente C o factores de rugosidad, hay diferentes expresiones (Chezy, Kutter, Bazin, Powell), para este caso se aplicará, el coeficiente de Manning (Renald V, 1995):

$$C=\frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}$$

Donde:

C = Coeficiente de Chezy

R = Radio Hidráulico

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning (n) se utilizará la tabla 9, la cual dependiendo del material y forma del canal se determina el valor al cual corresponde dicho coeficiente, a continuación, se presenta la relación con los valores anteriormente descritos:

*Tabla 9. Coeficiente de rugosidad de Manning*

Tipo canal abierto	coeficiente de Manning (n)
cemento muy pulido madera bien acepillada	0.010
madera acepillada acequias de duelas de madera nuevas Fundición	0.012
tubería de alcantarillado bien vitrificada buen estado de mampostería tubería de hormigón madera sin cepillar acequias de balso liso	0.013
tubería de alcantarillado en arcilla tubería de fundación ordinaria cemento pulido ordinario	0.015
canales de tierra canales rectos canales bien conservados	0.023
canales de tierra dragados en condiciones ordinarias	0.027
canales labrados en roca	0.04
ríos en buenas condiciones	0.03

*Fuente: La anterior grafica fue extraída de (Renald V, 1995, pág. 259).*

Para determinar el caudal, se implementa la fórmula de Manning (Renald V, 1995):

$$Q = V.A$$

$$Q = A \cdot \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad (m/s)

A = Área (m<sup>2</sup>)

n = Coeficiente de rugosidad

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente superficial del agua o línea de fondo (m/m)

Para determinar la pérdida de carga (h<sub>L</sub>), se utiliza la ecuación de Manning (Renald V, 1995):

$$h_L = \left[\frac{V^n}{R^3}\right]^2 \cdot L$$

$$S = \frac{h_L}{L}$$

Donde:

h<sub>L</sub> = Pérdida de carga

V = Velocidad

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

R = Radio hidráulico

L = Longitud (m)

S = Pendiente de línea de alturas piezométrica.

Las fuerzas producidas por los fluidos los cuales se encuentran en movimiento son de gran importancia ya que, para determinar el diseño de bombas, turbinas, hélices, etc. Ya que las ecuaciones básicas que se aplican de energía no son completas del todo, y para esto se emplea el principio de cantidad de movimiento y la teoría de capa límite genera un análisis más detallado (Renald V, 1995)

### 6.2.5 Bernoulli

para determinar la carga total del flujo, a lo largo de una línea corriente, se utilizarán los diferentes términos utilizados en la ecuación de Bernoulli (Çengel & Cimbala, 2012):

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z = H$$

Donde:

H = Carga total para el flujo (m)

P = Presión (N/m<sup>2</sup>)

g = Gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>)

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

V = Velocidad (m/s)

z = Carga de elevación: energía potencial

$\frac{P}{\rho g}$  = Carga de presión: esta carga de presión es producida por P estática, la cual representa

la altura de la columna del fluido

$\frac{V^2}{2g}$  = Carga de velocidad: elevación necesaria dando al fluido el alcance de la velocidad v.

La ecuación de Bernoulli es aplicable en cuando se implementa en dos puntos diferentes de la corriente, esta no aplica sobre la misma línea de corriente (Çengel & Cimbala, 2012):

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + Z_1 g = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + Z_2 g$$

### 6.2.6 Segunda ley de Newton

Para determinar el la cantidad de movimiento en donde se involucran los sistemas de flujo, iniciaremos hablando de las segunda ley de Newton, donde hay una aceleración de un cuerpo, el cual la fuerza es directamente proporcional a la fuerza y la aceleración es inversamente proporcional a la masa (Çengel & Cimbala, 2012), para determinar la fuerza se utiliza la siguiente ecuación:

$$F = m \cdot a$$

$$F = m \cdot \frac{dV}{dt}$$

$$F = \frac{dmV}{dt}$$

Donde:

F = Fuerza (N, vector)



$m = \text{Masa (Kg)}$

$a = \text{Aceleración (m/s}^2\text{, vector)}$

$V = \text{Velocidad (m/s)}$

$t = \text{Tiempo (s)}$

$m.V = \text{Momento lineal o momentun (masa por velocidad)}$

### 6.2.7 Ecuación de momento

Para los cuerpos rígidos de rotación se utiliza la siguiente ecuación, como lo son: momento de torsión, cantidad de movimiento angular y cantidad de movimiento angular respecto al eje x (Çengel & Cimbala, 2012):

$$M = I \cdot \alpha$$

cantidad de movimiento angular

$$M = I \cdot \alpha$$

$$M = I \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$M = I \cdot \frac{dH}{dt}$$

cantidad de movimiento angular con respecto al eje x

$$M = I \cdot \alpha$$

$$M_x = \frac{dH_x}{dt}$$

Donde:

$M$  = Momento de torsión (vector)

$I$  = Inercia

$\alpha$  = Aceleración angular (vector)

$M_x$  = Momento de torsión con respecto al eje x (vector)

$\frac{dH}{dt}$  = Razón de cambio del momento angular.

$\omega$  = Velocidad angular

“Para el aprovechamiento de la energía del agua, generando turbulencia y así generar movimiento, se conoce como agitación hidráulica”, (RAMIREZ OCAMPO AUGUSTO (Ministro de Desarrollo Económico), 2000, pág. 105), la cual en el proyecto en desarrollo va a ser un punto muy importante ya que se necesitara de ella para el abastecimiento.

La presión es la fuerza del rio la cual se aplicará en el área de las aspas las cuales generaran el movimiento del molino. La siguientes son las relaciones y ecuaciones que se implementan para determinar la presión y la variación de presión con la profundidad (Çengel & Cimbala, 2012)

$$1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$$

$$1\text{bar} = 10^5\text{Pa} = 100\text{kPa}$$

$$1\text{ atm} = 101\,325\text{ Pa} = 101.325\text{ kPa} = 1.01325\text{ bars}$$

La presión  $P$ , en un fluido aumenta con la profundidad,  $P_{\text{atm}}$  (presión atmosférica), se despreciaría ya que es una superficie libre de un líquido el cual se encuentra abierto a la atmosfera, entonces la presión a utilizar es la  $P_{\text{man}}$  (presión manométrica).

$$P = P_{atm} + \rho gh$$

$$P_{man} = \rho gh$$

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

P = Presión (N/m<sup>2</sup>)

F = Fuerza (N)

A = Área (m<sup>2</sup>)

### **6.3 Captación de agua**

Cuando se refiere a obras de captación, se puede concluir que se refiere a la estructura o estructuras, utilizadas para dar facilidad a la derivación de caudal necesario (Revista ARQHYS, 2012), para este este proyecto se proyecta un canal abierto, el cual conduzca el agua hacia el molino.

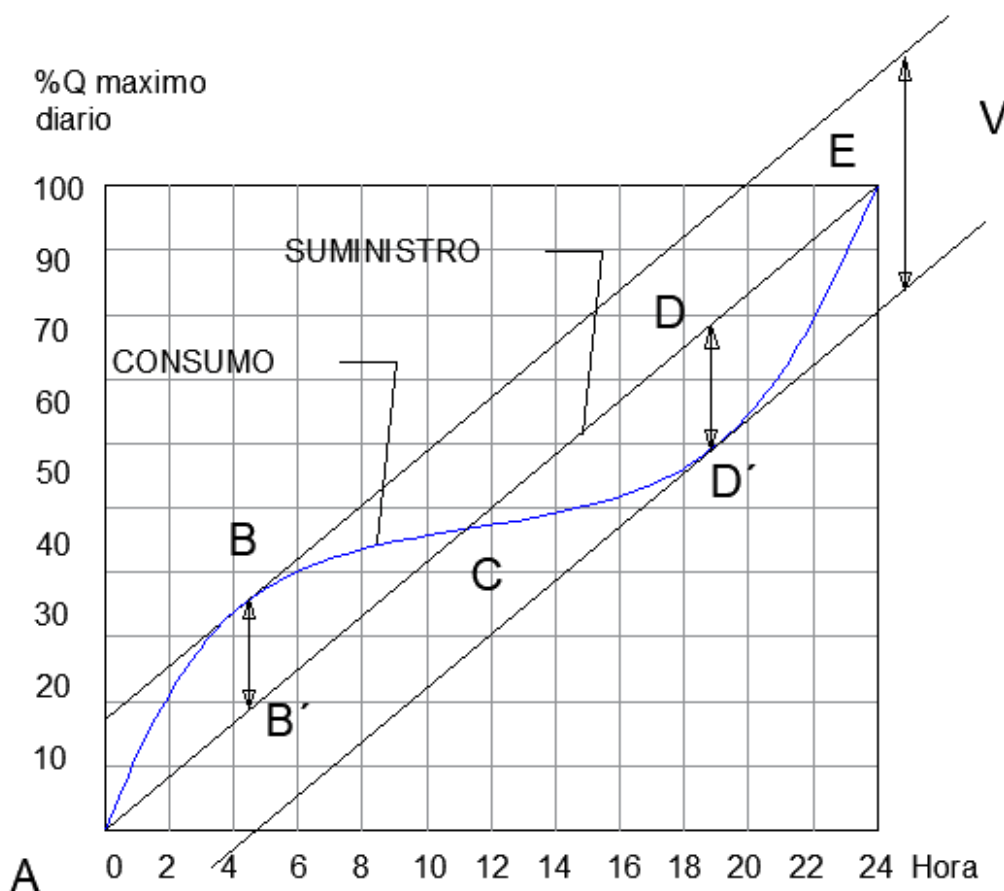
### **6.4 Tanque de almacenamiento**

#### **6.4.2 Tanque de Almacenamiento**

Para el almacenamiento se implementará un Tanque de almacenamiento el autor López Cualla (2003) recomienda basado a que el caudal que se capta puede tener diferentes variaciones y no siempre ser de manera constante y a sí mismo para la cantidad de agua necesaria, se recomienda un tanque de almacenamiento.

Para la capacidad del tanque de almacenamiento elevado, el cual será bombeado, se utiliza el método de la curva integral, como lo muestra la figura 9.

Figura 9. Método de curva integral para determinar el volumen de diseño



Fuente: adoptado de (Lopez Cualla, 2003)

De la figura anterior (figura 9), se refleja la curva de consumo y la recta de suministro. En los puntos de  $BB'$  y  $DD'$  se refleja el máximo déficit y sobrante, para determinar el volumen del tanque, se realizará la suma correspondiente de los puntos  $BB'$  y  $DD$  (Lopez Cualla, 2003).

Para el respectivo dimensionamiento del tanque, luego de tener el volumen, y por lo cual el autor recomienda tener en cuenta antes iniciar con la construcción de este, relacionado con los costos de este: mayor profundidad mayor costo de muros y menor costo de placa y cubierta; menor profundidad mayor costo en cubierta y placa, pero menor costo en los muros. La ecuación para el dimensionamiento es la siguiente (Lopez Cualla, 2003):

$$h = \frac{V}{3} + K$$

Donde:

$h$  = profundidad (m)

$V$  = Capacidad (cientos de  $m^3$ )

$K$  = constante en función de capacidad (tabla 10)

A continuación, se presenta la tabla, para determinar la constante en función de capacidad:

*Tabla 10. Constante en función de capacidad  $K$*

V (Cientos de $m^3$ )	K
<3	2,00
4 a 6	1,80
7 a 9	1,50
10 a 13	1,30
14 a 16	1,00
> 17	0,70

*Fuente: adoptado de (Lopez Cualla, 2003)*

## 6.5 Conducción y distribución

### 6.5.1 Tuberías

Las Tubería o también conocidas como redes de distribución, son los conductos o el medio por el cual se va a trasportar el agua, permitiendo así, desde su captación hasta su destino o destinos” (Lopez Cualla, 2003).

“Los tramos de tubería que se implementan para la conducción de los caudales, desde el punto de origen al depósito final se conoce como la línea de aducción o línea de impulsión”, (Revista ARQHYS, 2012) .

El fluido a través de tuberías se conoce como un fluido interno, el cual tiene características muy diferentes a los conductos externos, ya que, en un conducto interno, está lleno con fluido y a base de esto se genera una presión el cual lo impulsa (Çengel & Cimbala, 2012).

Para determinar si tipo de flujo, si es laminar o turbulento, basta ver el **capítulo 6.2.2 Reynolds**, del presente documento, el cual están las ecuaciones correspondientes para determinar este fluido.

### 6.5.2 Velocidad secciones rectas flujo laminar

Para determinar la distribución de velocidades para una sección recta, se continuará con la ley de variación parabólica, para el flujo laminar. La velocidad máxima es la que se puede encontrar en el eje de la tubería y esta corresponde al doble de la velocidad media, la velocidad en el flujo laminar se determina con la siguiente ecuación (Renald V, 1995):

$$v = v_c - \left( \frac{whL}{4\mu L} \right)$$

Donde:

$v$  = Velocidad flujo laminar (m/s)

$v_c$  = Velocidad de corte (m/s)

$w$  = Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)

$hL$  = Perdida de carga (m)

$L$  = Longitud (m)

$\mu$  = Viscosidad absoluta (kg.s/m<sup>2</sup>)

### 6.5.3. Velocidad en flujos turbulentos

para determinar las velocidades en flujos turbulentos, se inicia desde los datos experimentales de Nikuradse entre otros (Renald V, 1995):

$$v = v_c (y/ro)^n$$

Donde:

$v$  = Velocidad flujo laminar (m/s)

$v_c$  = Velocidad de corte (m/s)

$y$  = Profundidad (m)

$ro$  = Radio de tubería (m)

$n = 1/7$  tuberías lisas  $< R_E = 100.000$

$n = 1/8$  tuberías lisas  $100.000 < R_E < 400.000$

Tuberías lisas (Renald V, 1995):

$$v = v_c (5.5 + 5.75 \log y v_c / \nu)$$

Donde:

$v$  = Velocidad flujo laminar (m/s)

$v_c$  = Velocidad de corte (m/s)

$y$  = Profundidad (m)

$\nu$  = Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ ) =  $\mu/\rho$

Tuberías lisas  $5.000 < R_E < 3.000.000$  (Renald V, 1995):

$$\frac{V}{vc} = \frac{1}{1 + 4.07 \sqrt{f/8}}$$

V = Velocidad media (m/s)

$v_c$  = Velocidad de corte (m/s)

$f$  = fricción

#### 6.5.4. Perdida de carga en flujo laminar

Para determinar la pérdida de carga en el flujo laminar, se implementará la fórmula de Hagen- Poiseuille (Renald V, 1995):

$$\text{Pérdida de carga} = 32 \left( \frac{\mu LV}{wd^2} \right)$$

$\mu$  = Viscosidad absoluta (kg.s/m<sup>2</sup> )

L= Longitud (m)

V= Velocidad media (m/s)

$w$  = Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)

$d$  = diámetro (m)

También para determinar la pérdida de carga en tuberías, se puede implementar la fórmula de Darcy Weisbach (Renald V, 1995):

$$\text{Pérdida de carga} = f \left( \frac{LV^2}{d2g} \right)$$

$f$  = Coeficiente de rozamiento de Darcy Weisbach

L= Longitud (m)

V= Velocidad media (m/s)



$g$  = gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>)

$d$  = diámetro (m)

### 6.5.5. Coeficiente de rozamiento de Darcy

Para determinar el coeficiente de rozamiento de Darcy ( $f$ ), se pueden presentar diferentes casos respecto al tipo de flujo o que tan liso o rugoso es la tubería, para cada caso se presentan las siguientes condiciones (Renald V, 1995):

Flujo laminar cuando  $R_E < 2000$

$$f = 64/R_E$$

Flujo turbulento en tuberías rugosas o lisas (Renald V, 1995):

$$f = 8 \tau_o/\rho V^2 = 8 V_*^2/V^2$$

Donde:

$\tau_o$  = Esfuerzo cortante (kg/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Densidad (kg.s/m<sup>4</sup>)

$V^2$  = Velocidad media

$V_*^2$  = Velocidad de corte

Tuberías lisas con  $3000 > R_E < 100.000$  (Renald V, 1995):

$$f = 0.316/RE^{0.25}$$

Para valores comprendidos de  $R_E < 3.000.000$ , cuya ecuación inicial es de Von Karman y dicha ecuación fue modificada por Prandtl (Renald V, 1995):

$$1/\sqrt{f} = 2\log(\text{Re}\sqrt{f}) - 0.8$$

Y para tuberías rugosas:

$$1/\sqrt{f} = 2\log r_o/\varepsilon + 1.74$$

Donde:

$r_o$  = Radio de tubería (m)

$\varepsilon$  = Rugosidad superficial (cm)

Para no tener en cuenta los diferentes parámetros, se contempla la ecuación de Colebrook, la cual es muy aceptada y permite determinar el coeficiente de fricción (Renald V, 1995):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{\varepsilon}{3.7d} \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right]$$

Donde:

$\varepsilon$  = Rugosidad superficial (cm)

$d$  = Diámetro (m)

Para la pérdida de carga por accesorios, los cuales se instalan a lo largo de la red de tubería, se implementa la siguiente ecuación donde utilizaran tablas respecto al accesorio para determinar la constante por accesorio  $K$  (Renald V, 1995):

$$\text{Pérdida de carga} = K(V^2/2g)$$

Donde:

$K$  = Coeficiente de pérdida de carga

$V$  = Velocidad media (m/s)

$g$  = gravedad ( $9.81\text{m/s}^2$ )

### 6.5.6 Perdida de carga por accesorios

para determinar la perdida de carga por accesorios, se presenta la tabla 11, en la cual se puede determinar la perdida de carga media y también se presentan valores del coeficiente de carga ( $K$ ), para codos, accesorios y válvulas (Renald V, 1995):

*Tabla 11. Perdida de carga media y coeficiente de perdida de carga ( $K$ )*

ACCESORIOS	PERDIDAS DE CARGA MEDIA
Conexión al ras de pared	$0.50(V_2^2/2g)$
Tubería entrante	$1.00(V_2^2/2g)$
Conexión abocinada	$0.05(V_2^2/2g)$
Tubería a deposito (perdida a la salida)	$0.05(V_1^2/2g)$
Ensanchamiento brusco	$(V_1 - V_2)^2/2g$
Ensanchamiento gradual	$K(V_1 - V_2)^2/2g$
Venturímetro, boquillas y orificios	$(1/c_r^2 - 1) \cdot V_2^2/2g$
Contracción brusca	$K_C(V_2^2/2g)$
Codos, accesorios válvulas	$K(V^2/2g)$
45° Codo	$K$
90° Codo	0.35 a 0.45
Tes	0.50 a 0.75
Válvula compuerta abierta	1.50 a 2.00
Válvula de control abierta	0.25
Válvula de control abierta	3,00

*Fuente: adoptado de (Renald V, 1995).*

También se puede presentar el caso donde se presenten ensanchamientos y contracciones, para esto la siguiente tabla 12. Presenta una relación entre los diámetros, el coeficiente K, y el ensanchamiento gradual partiendo del Angulo, la tabla 12. También es complemento de la tabla anterior la tabla 11.

*Tabla 12. Coeficiente de pérdida de carga para contracción brusca y ensanchamiento.*

Contracción brusca		Ensanchamiento gradual para un ángulo total del cono						
d1/d2	K <sub>c</sub>	4°	10°	15°	20°	30°	50°	60°
1.20	0.08	0.02	0.04	0.09	0.16	0.25	0.35	0.37
1.40	0.17	0.03	0.06	0.12	0.23	0.36	0.50	0.53
1.60	0.26	0.03	0.07	0.14	0.26	0.42	0.57	0.61
1.80	0.34	0.04	0.07	0.15	0.28	0.44	0.61	0.65
2.00	0.37	0.04	0.07	0.16	0.29	0.46	0.63	0.68
2.50	0.41	0.04	0.08	0.16	0.30	0.48	0.65	0.70
3.00	0.43	0.04	0.08	0.16	0.31	0.48	0.66	0.71
4.00	0.45	0.04	0.08	0.16	0.31	0.49	0.67	0.72
5.00	0.46	0.04	0.08	0.16	0.31	0.50	0.67	0.72

*fuerce: recuperado de King, Handbook of Hydraulics, McGraw-Hill Book Company (Renald V, 1995)*

### 6.5.7. El riego

“El arte del riego es una técnica muy antigua, dicha técnica ha sido muy importante para el desarrollo y surgimiento de algunas civilizaciones”, (Megh, Kenneth H, Rúiz Giraldo, & Lugo López, S.F, pág. 3)

Los objetivos del riego son: suministrar humedad a los cultivos; abastecer los suelos en tiempo de sequía; se puede utilizar para suministrar químicos necesarios para el cultivo; buscar beneficios en cuanto las operaciones de los cultivos (Megh, Kenneth H, Rúiz Giraldo, & Lugo López, S.F).

Los sistemas de riego pueden emplearse de diferentes formas: por inundación, por surcos, subterráneo, por aspersión, y en el proyecto en trastero se utilizará el sistema por goteo.

En la implementación de un sistema de riego por goteo, la intensidad del agua la cual se va a proveer es baja, pero su aplicación es de tiempos más largos por su bajo caudal de entrega, y la implementación de este sistema suele ser muy económico. El tener agua almacena permite que el suministro tenga un comportamiento constante y este provea sin ver afectaciones en el suministro (Megh, Kenneth H, Rúiz Giraldo, & Lugo López, S.F).

La correcta aplicación del sistema de riego, genera una alta eficiencia en el orden del 90% al 95%, en el caso del campo puede estar en el orden del 80% al 90% y en ciertos casos donde el sistema tenga obstrucciones o cualquier anomalía en la conducción o del mismo terreno, este podría bajar a una eficiencia del 60% (Megh, Kenneth H, Rúiz Giraldo, & Lugo López, S.F).

#### **6.5.8. Riego por goteo**

La distribución de las tuberías del riego por goteo comprende una distribución, la cual comprende tubería primaria, secundaria y terciaria. Para la red primaria y red secundaria se puede utilizar policloruro de vinilo (PVC) y para la red terciaria se puede implementar polietileno de baja densidad (PEBD) (NOVAGRIC, 2016).

Los diámetros para tubería primaria y secundaria en PVC, se presentan en la tabla 13, allí se puede determinar la presión máxima de trabajo y la relación diámetro espesor (RDE) y el espesor que tiene cada una:

*Tabla 13. Diámetros para Tuberías a presión de PVC DE 1 y 3/4 de pulgada*

Tuberías a presión de PVC DE 1 y 3/4 de pulgada (a 23°C)					
RDE	Presión (PSI)	DIAMETRO (mm)			Espesor (mm)
		Nominal	Exterior	Interior	
11	400	26	26.67	21.81	2.43
		33	33.4	28.47	2.46
13.5	315	21	21.34	18.18	1.58
		33	33.4	28.47	2.46
21	200	26	26.7	23.63	1.52
		33	33.44	30.2	1.6

*Fuente: Adoptado de (PACVO WAVIN, 2020)*

Para diámetros pequeños en tubería PEBD, se presenta la tabla 14, en la cual se presenta la presión, diámetro y espesor correspondiente.

*Tabla 14. Presión y diámetro para tubería PEBD*

Tubería PEBD		
BAR	Diámetro	Espesor
5	25	2.0
6	20	2.0
	25	2.3
10	20	3.0
	25	3.5

*Fuente: (GESTIRIEGO, 2015)*

La red de tubería finaliza en cada uno de los goteros los cuales suministraran agua directamente a la planta, a continuación, se presenta la tabla 15, con un listado de goteros con sus respectivas características:

Tabla 15. Tipos de goteros con caudal nominal y presión de trabajo.

Gotero	Caudal nominal (l/h)	1 (bar)	1.25 (bar)	1.5 (bar)						
Euro Key	2.0	2.0 (l/h)	2.4 (l/h)	2.8 (l/h)						
	4.0	4.0 (l/h)	5.0 (l/h)	5.6 (l/h)						
				11.2						
	8.0	8.0 (l/h)	9.7 (l/h)	(l/h)						
		16.0	16.8	19.5						
	16.0	(l/h)	(l/h)	(l/h)						
		24.0	29.0	34.0						
	24.0	(l/h)	(l/h)	(l/h)						
Aplicaciones: viñedos, invernaderos de frutas										
		1 (Bar)	2 (bar)	3 (bar)	4 (bar)					
Euro Plus	4.0	3.9 (l/h)	3.9 (l/h)	3.9 (l/h)						
					8.35					
	8.0	7.6 (l/h)	7.9 (l/h)	8.1 (l/h)	(l/h)					
Aplicaciones: largas pendientes y topografía inestable										
		1 (bar)	1.4 (bar)	2.1 (bar)	2.8 (bar)	3.4 (bar)	4.1 (bar)			
NGE AL	2.0	1.9 (l/h)	1.98 (l/h)	2.01 (l/h)	2.02 (l/h)	2.01 (l/h)	1.97 (l/h)			
		2,85	2.96		3.05	3.06	3.07			
	3.0	(l/h)	(l/h)	3.0 (l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)			
			3.95	3.97	3.99	4.01				
	4.0	3.8 (l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	4.0 (l/h)			
			8.09	8.05	8.05	8.06				
	8.0	7.8 (l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	8.0 (l/h)			
Aplicaciones: Cultivos sin suelo o en maceta										
		0.6 (bar)	0.7 (bar)	1.0 (bar)	1.4 (bar)	2.1 (bar)	2.8 (bar)	3.4 (bar)	4.1 (bar)	
		1.95		1.99	1.98	2.01	2.02	2.01	1.97	
NGE SF	2.0	(l/h)	2.0 (l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	
		3.71	3.94	4.01	3.95	3.97	3.99	4.01		
	4.0	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	4.0 (l/h)	
		7.36	7.89	8.23	8.09	8.05	8.05	8.06		
	8.0	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	(l/h)	8.0 (l/h)	
Aplicaciones: Cultivos campo abierto, condiciones de terreno críticas										

Fuente: adoptado de (Toro Ag Irrigation, 2014)

El sistema de abastecimiento de agua se refiere al conjunto el cual se relacionan tuberías, instalaciones y accesorios, el cual tiene como finalidad distribuir el agua, desde su punto de origen hasta su finalidad. Estos se pueden clasificar en rurales o urbanos (Revista ARQHYS, 2012).

## **6.6. Características del cultivo**

“Las siguientes son factores con los cuales el cacao se clasifica según diferentes índices: Compatibilidad, índice de Grano (IG), índice de Mazorca (IM), frutos/ Árbol /Año, rendimiento, enfermedad y numero de semillas por fruto” (Martinez Guerrero, 2016).

Para el establecimiento del cultivo del cacao se requerirán las siguientes características (FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACION AGRICOLA, 2004) :

- ✓ De o a 700 msnm
- ✓ la distancia de cada planta de cacao 3.5 x 3.5 m, en tresbolillo 945 plantas /ha y en cuadrado 817 plantas/ha.
- ✓ los siguientes individuos arbóreos, pueden funcionar para proporcionar sombra:
  - madreado: distancia 7 x 7 m con población a tresbolillo de 236 o cuadrado con 205 plantas /ha.
  - Maderable: distancia entre 10.5 a 14 m de separación, su población a tresbolillo es de 105 árboles/ha y cuadrado a 91 árboles/ha.
  - Plátano: distancia de 3.5x 3.5 en tresbolillo 775 plantas /ha y en cuadrado 671 plantas/ha

Para poder tener una producción óptima y deseada, la precipitación anual tiene que estar entre 1150 y 2500mm a temperatura que oscila entre 21°C a 32°C (Sánchez Reyes, 2012)

## **6.7. Protección de canal con rejilla**

la ubicación de esta es dentro del canal, esta puede ser de menor longitud que la presa o ancho de canal de la garganta, las dimensiones de ancho mínimo son de 40cm y de largo mínimo



de 70cm, todo esto con la finalidad de que se pueda realizar la limpieza y mantenimiento. Los barrotes o varillas para implementar pueden ser de hierro con separaciones entre los mismos de 5cm a 10cm y los diámetros a emplear de los barrotes van en el orden de 1/2", 3/4" y 1", según la necesidad (Lopez Cualla, 2003).

#### **6.7. Requisitos para ocupación de cauce.**

El permiso de ocupación de cauces, lo pueden solicitar ciudadanos, extranjeros, instrucciones públicas, dependencias públicas y organizaciones. para esta solicitud debe tener los requisitos que presenta la tabla 16.

*Tabla 16. Requisitos para ocupación de cauce Cortolima*

Requisito	Ciudadano	Extranjero	instituciones o dependencia s publicas	Organizaciones
Formulario de solicitud	X	X	X	X
Ser propietario del predio (presentar documento)	X	X	X	X
Plano de localización de la fuente hídrica en el área de afluencia (presentar documento)	X	X	X	X
Planos y memorias de cálculos estructurales	X	X	X	X
Planos y memorias de cálculos hidráulicos	X	X	X	X
Características físicas del predio según cedula catastral y matricula inmobiliaria	X	X	X	X
Costo de inversión y operaciones anuales del proyecto		X	X	X
Estar inscrito en la Cámara de comercio como persona jurídica				X

*Fuente: información adoptada de (CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL TOLIMA, 2020)*

## 7. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

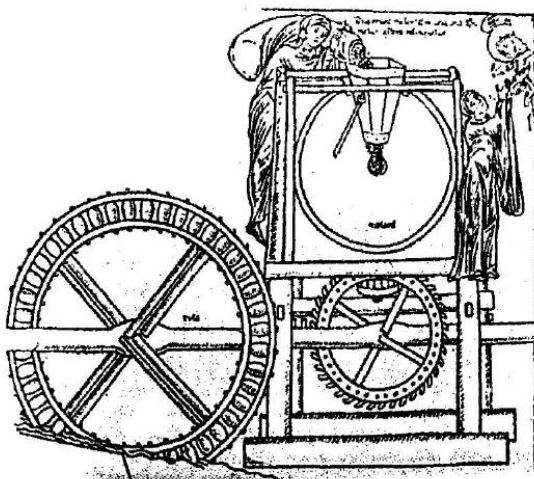
El río Magdalena es el río más importante en Colombia, cruza el país a lo largo de sur a norte, con una distancia de 1.600 km, cuya longitud atraviesa a 22 departamentos de Colombia (22 de 32), este gran cuerpo de agua es la principal suministro de agua potable, para la irrigación, generadores de energía y para el sector de la industria suministra aproximadamente el 50% del país (Ordóñez, 2020).

Los molinos hidráulicos de la antigüedad: En la edad antigua los molinos se conocían, pero era solo una curiosidad. En la edad media tuvieron un mayor uso y gran expansión. En los últimos 30 años se conocieron datos que desde el siglo I D.C eran muy empleados por los romanos (Palomo Palomo & Fernández Uriel, 2006).

Se presume que los molinos hidráulicos son las máquinas más antiguas inventadas por el hombre, los primeros implementados, fueron en la época griega a mediados del siglo III a.C. Estos molinos eran de eje vertical, utilizando rodeznos de paletas, los cuales eran fabricados de madera y cuya principal función era la de moler el grano (Santizabal Villegas, 2004).

La propagación del molino hidráulico, como otras metodológicas enfocadas en el desarrollo y evolución de nuevas técnicas, las cuales resultan ser cambios revolucionarios para la vida cotidiana, tanto económicamente como social, y gracias a asimilación de los europeos a mediados del siglo VI, donde sobresalía la mentalidad virgen y la fuerza de los bárbaros, en donde la aplicación de nuevas técnicas se enfocaron al aprovechamiento energético en un momento de crecimiento de la economía (Flores Arroyuelo, 1993).

*Figura 10. Molino medieval de rueda.*

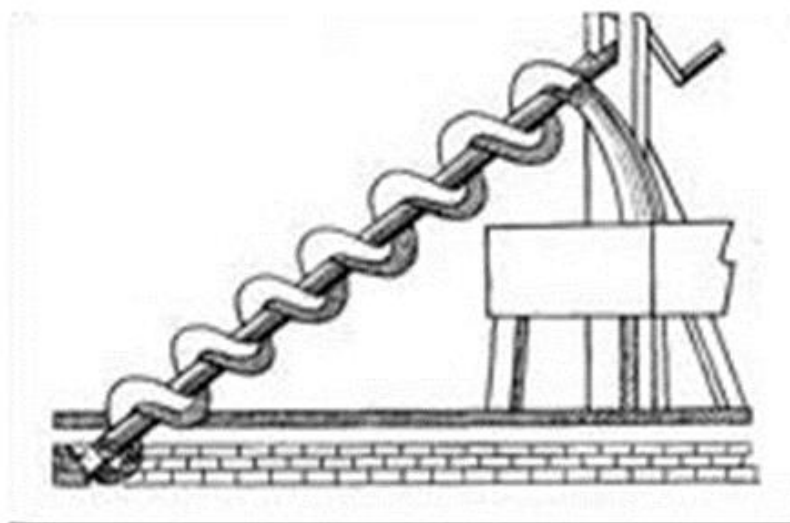


*Nota de figura: Imagen tomada del libro: El Molino: piedra contra piedra (Molinos hidráulicos de la Región de Murcia,), (Flores Arroyuelo, 1993). con nota de pie: Molino medieval de rueda vitruviana en el libro de la abadesa Herrede de Landsberg, El jardín de las Delicias.*

La implementación de la energía hidráulica viene desde los griegos lo cuales utilizaban una rueda hidráulica, con el fin de poder extraer o succionar el agua. Esta rueda ya fuera vertical u horizontal, se utilizó en la edad media y en renacimiento. En el siglo XIX fue implementada la primera turbina eléctrica y cuya importancia e influencia fue muy grande en la revolución industrial, ya que impulso varios sectores económicos. (BUN-CA Biomass Users Network, 2002)

El Tornillo de Arquímedes es una maquina o instrumento gravimétrico helicoidal, la cual fue construida en el siglo III a.C por Arquímedes, con el fin de elevar agua o sólidos; Función: eleva agua a zonas donde no llegaban los ríos debido a la pendiente. Se emplea un tornillo encajado en un cilindro, donde un extremo esta sobre el líquido y el otro extremo con una manivela la cual permite que al generar el giro de manera mecánica se logre elevar el agua (Ramirez, 2012), en la figura 11, se ilustra el tornillo de Arquímedes.

*Figura 11. Tornillo de Arquímedes.*



*Nota de figura: (Algarra, 2011)*

En los años de 1911, se realizó la conformación de la primera fábrica de industria harinera de Bogotá cuyo primera fábrica fue Duitama - Boyacá, creando el molino para la industria harinera, por la complejidad y falta de mano especializada, debido a que este molino funcionaba a vapor y era traído del extranjero, este montaje demoro cerca de 9 años,...,el molino Tundama, comienza producción en el años de 1924, produciendo así cerca de 180 cargas de harina diaria, inicialmente con 21 trabajadores (Díaz, 2011).

Los molinos en Colombia para el año 1950, en cada zona habían 32 en Cundinamarca, zona occidente 18, zona norte 7, Nariño 8, Boyacá 9 y Santander 10, de lo anterior para un total de 84 molinos en Colombia (Díaz, 2011).

la bomba Barsha,..., es capaz de suministrar por bombeo hasta 40.000 litros de agua, puede elevar el agua a una altura aproximada de 20 metros y puede llevar el agua a una distancia horizontal de 2 kilómetros con una tasa de flujo máxima de 1 litro por segundo.

Con este sistema los productores llegan a ahorrar un 70% en sus costos de irrigación (Rincón, 2019).

“Con la bomba Barsha se ha conseguido el riego de 200 hectáreas, 300 millones de litros de agua bombeada, cerca de 5000 personas beneficiadas, reduciendo 100 toneladas las emisiones de CO<sub>2</sub>” (Aqysta Innovating For Impact, 2019).

*Figura 12. Bomba Barsha*



*Nota de figura. Figura tomada de (AQysta, 2019)*

Desde el año 2013 se han estado entregando 19.300 clones de cacao en Tolima y Huila para una mejor productividad; “Estas semillas están adaptadas a las condiciones agroecológicas imperantes en los valles interandinos secos y la zona marginal baja cafetera. Son cacaos finos y de aroma y su potencial de rendimiento es mayor a 1.200 kilogramos de grano seco por hectárea (EL NUEVO SIGLO, 2015).

Santander es el mayor productor de Colombia de cacao, la producción depende del número de frutos, almendras por mazorca y el promedio del peso de las almendras,..., El grano de cacao ha llegado a ser una de la materia prima más importantes en la industria de alimentaria, de cosméticos y hasta farmacéutica, Todas estas cepas son de semillas de calidad y variedades mejoradas, fueron entregadas a pequeños productores agrícolas, la entidad que las entrego busca la

permanencia de estos clones de alto rendimiento productivo y un grano de calidad (Martinez Guerrero, 2016).

El cacao tiene su origen en la región amazónica, la cual están los países como: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. En la región del alta amazonas, el cacao pudo estar en esta zona aproximadamente 15.000 (quince mil) años en el pasado; en la región del Orinoco permite el traslado de las plántulas de cacao a México, por su proximidad; civilizaciones importantes como los Olmecas, los Mayas, los Toltecas y los Aztecas, datan de haber cultivado, interactuado y hacer el cacao parte de su cultura (Sánchez Reyes, 2012).

Su nombre común es cacao, su nombre científico es *teobroma cacao* (Linneo), perteneciente a la familia de esterculiáceas, su estructura fundamental es de baya ovoide la cual contiene de 20 a 40 semillas (Sánchez Reyes, 2012).

La producción anual está marcada por ocho países los cuales con un 90% son productores de cacao a nivel mundial, dichos países son: Brasil, Camerún, Colombia, Costa de Marfil, Ecuador, Ghana, Indonesia y Nigeria (Rimache Artica, 2008)

## 8. SOLUCION DEL PROBLEMA

Para empezar con la solución del problema se dividirá este capítulo en los siguientes componentes: ubicación del terreno, prototipo construido, estación pluviométrica escogida, caudal de demanda, distribución de riego, volumen de tanque de almacenamiento, diseño de prototipo y cálculos, y para finalizar el perfil del terreno.

### 8.1 Ubicación del terreno (Zona de estudio)

En Natagaima Tolima, se encuentra la vereda de tinajas, allí hay 2 hectáreas la cuales estas predispuestas a ser intervenidas para el presente proyecto, la siguiente imagen se tomó en el lote correspondiente:

*Ilustración 1. Lote destinado para proyecto en tinajas.*



*Fuente: Imagen de autoridad propia.*

El sector escogido para la instalación del molino se muestra en la siguiente ilustración en donde se identifica la ubicación planteada.



*Ilustración 2. Lugar seleccionado para la instalación del molino.*



*Fuente: Imagen de autoridad propia.*

En el mes de octubre del año 2019, se realizó un recorrido para verificar condiciones del terreno y del mismo río, el recorrido se realizó con el señor Abundio Carrillo (tío del autor del presente proyecto), (Ilustración 3).

*Ilustración 3. Evidencia fotográfica de recorrido en zona.*



*Fuente: Imagen de autoridad propia.*

### 8.1. Prototipo construido (físico)

Siguiendo el principio de la bomba Barsha, se diseñó el prototipo a escala, con la finalidad de obtener resultados, respecto a la captación y suministro de agua, en la Ilustración 4 se puede apreciar el diseño del prototipo. Este prototipo es diseñado con propiedades muy similares a la bomba Barsha, ya que es un sistema de suministro muy óptimo, ya que este tiene la capacidad de elevar el agua hasta 20 metros columna de agua y llevar hasta distancias horizontales hasta 2 kilómetros, además el como lo demuestra la organización Aqysta Innovating For Impact, (2019). “cerca de 5000 personas beneficiadas, reduciendo 100 toneladas las emisiones de CO<sub>2</sub>”.

La implementación de este modelo se realizó con materiales básicos como: madera, manera plástica de ½”, carrete como estructura de soporte, y click truper (accesorio que une la tubería del molino con la tubería de conducción), a este prototipo se le coloco dos soportes en los extremos permitiendo así que este gire sobre el eje y pueda permitir el funcionamiento del molino. En la Ilustración 4, se puede apreciar la construcción de dicho prototipo.

*Ilustración 4. Prototipo de molino artesanal.*



*Fuente: Imagen de autoridad propia.*

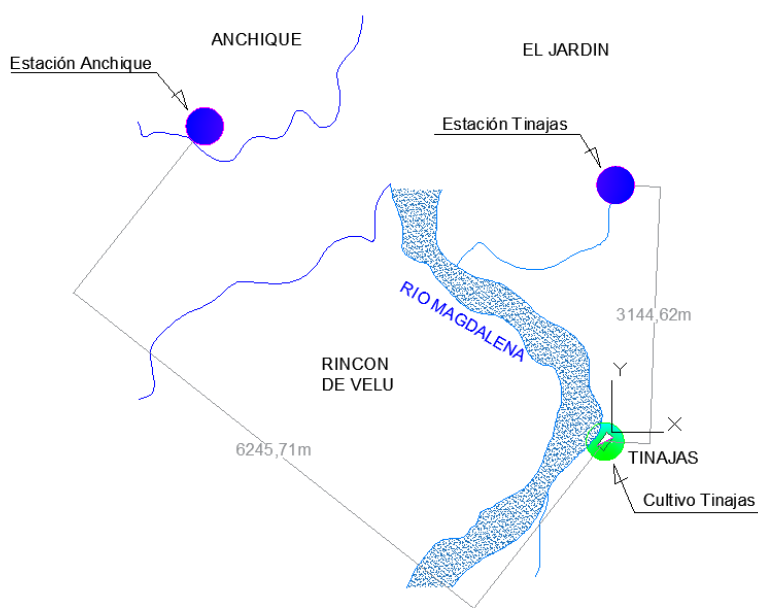
Este prototipo costa de una manguera de ½” enrollada en las dos partes laterales de las aspas la cual obtiene el agua el ingreso por la manguera de un solo lado del molino, el molino se coloca sobre una base la cual permite que este gire con la corriente del agua, la base se apoya sobre los laterales. El conector que permite el giro es un conector click.

Para este prototipo previendo la devolución del agua, se instaló una válvula cheque, pero la presión que ejercía el ingreso a la tubería no era lo suficientemente fuerte, por consiguiente, en el prototipo no se tuvo en cuenta.

### 8.3. Estación pluviométrica escogida

Inicialmente hay dos datos de estaciones con datos de precipitaciones, por la cual los datos escogidos son los de la estación de tinajas ya que por su distancia de 3144.62m a diferencia de la estación de Achique la cual queda a 6245.71m (Figura 13). Estos datos de precipitación tienen como finalidad, determinar el nivel del río y la necesidad del riego.

*Figura 13. Estaciones pluviométricas más cercanas al cultivo.*



*Fuente: adoptado de (IDEAM, 2020)*

Continuando con las precipitaciones según la Figura 6 (Precipitaciones mensuales del año 2010 al 2020, estación Tinajas), se puede inferir que los meses de enero, febrero y junio a agosto, son meses con precipitaciones bajas o nulas, por lo cual son meses en los que el sistema de riego se tiene que implementar en su totalidad.

También de la Tabla 6 (Historial de precipitaciones mensuales de la vereda de tinajas, del año 2010 al año 2020, estación Tinajas), se puede observar que las precipitaciones totales anuales no superan los 2500mm de requerimiento para el cultivo de cacao, por lo cual quiere decir que el riego se tiene que implementar todo el año, con más intensidad en unos meses que en otros.

#### 8.4. Caudal de demanda.

*Tabla 17. Individuos arbóreos por hectárea y caudal de diseño*

	TREBOLILLOS	CUADRADO	TEORICO	PRACTICO
	Plantas/ha	Plantas/ha	2ha	2ha
CACAO	945	817	1634	1482
MADERABLE	105	91	182	152
	AGUA (mm)	L/d	L/2ha	eficiencia 90%
CACAO	2500	6,85	10150,68	12180,8219
MADERABLE	2500	6,85	1041,096	1249,31507
			CAUDAL	
			13430,137	l/día
			13,43	m3/día

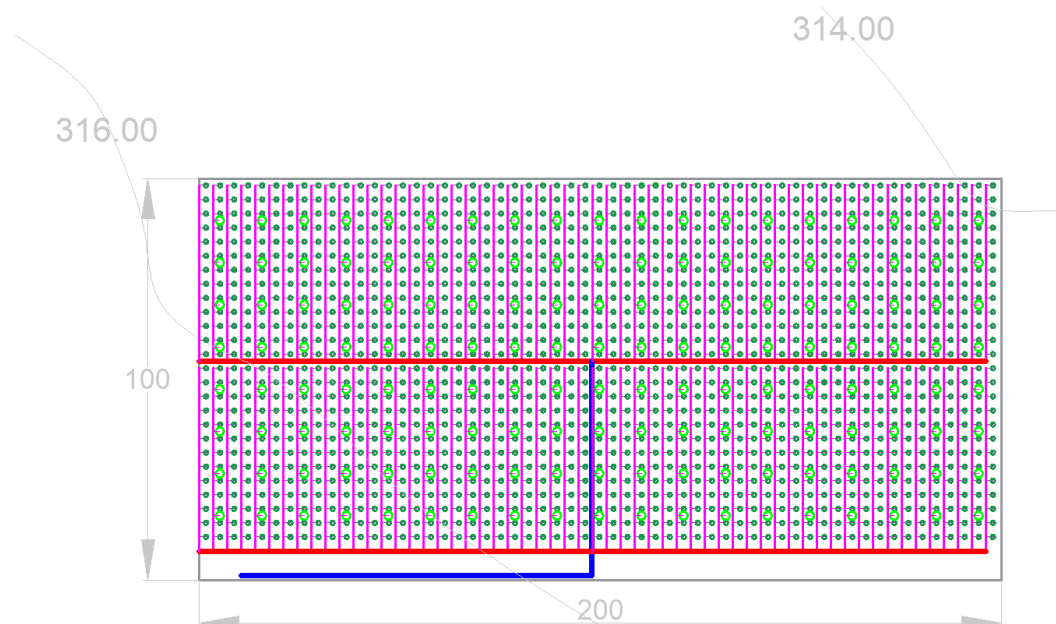
*Fuente: datos propios del diseño.*

#### 8.5. Distribución de sistema de riego.

En la anterior tabla (Tabla 17), se presentan los valores teóricos de plantas por hectáreas y los valores prácticos que son los que se implementan en el diseño, con la necesidad de agua de cada individuo determinamos la demanda la cual es de 13.43m<sup>3</sup>/día, y con la cual se puede diseñar el

tanque de almacenamiento, en la siguiente figura (Figura 14), se presenta la distribución de cada individuo arbóreo y de la red para el sistema de riego.

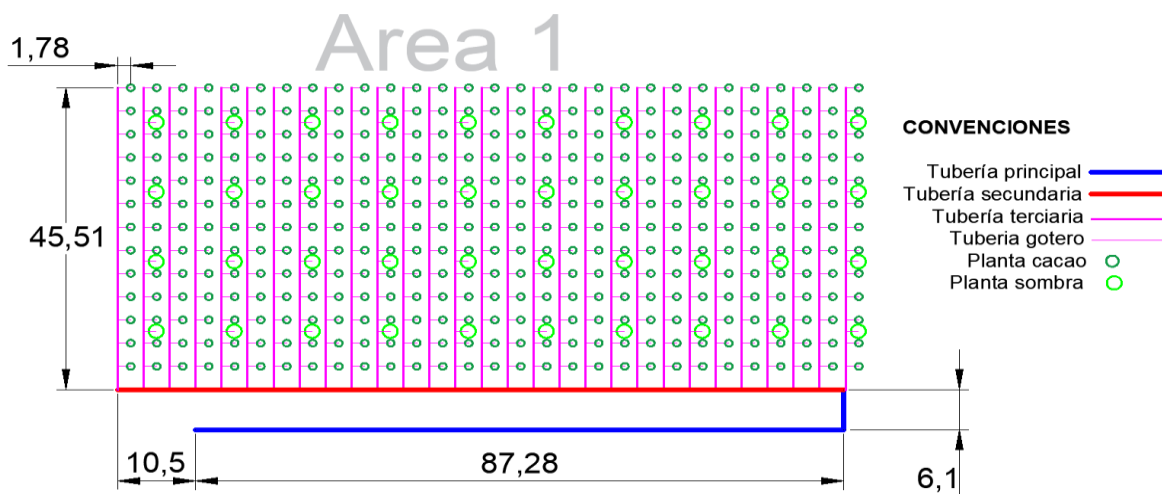
Figura 14. Vista general del sistema de riego y su topografía.



Fuente: datos propios del diseño.

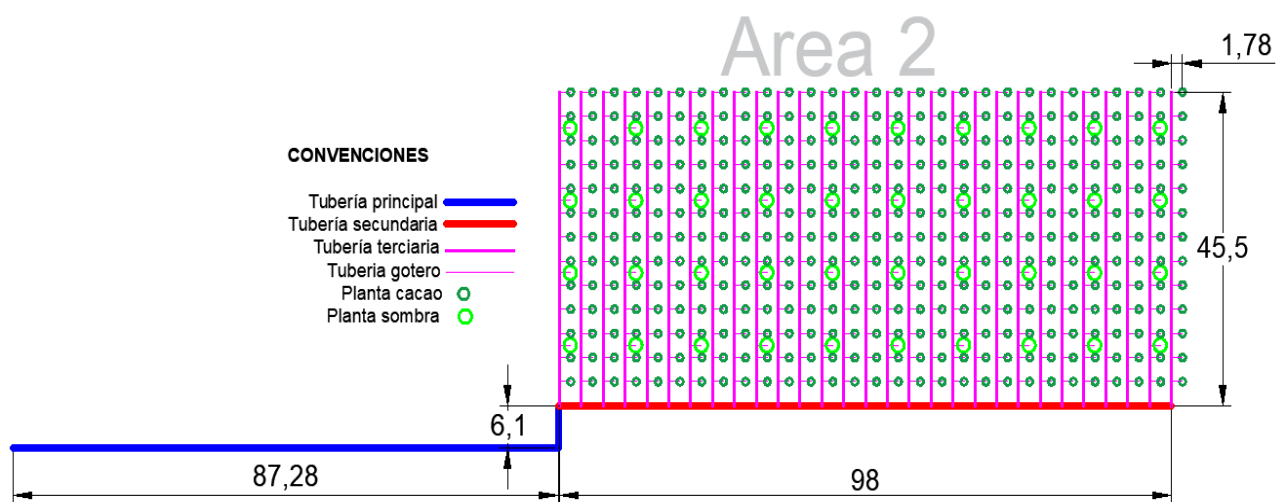
De la Figura 14, las 2ha de riego se desarrollarán en 4 áreas las cuales son:

Figura 15. Área 1 de riego



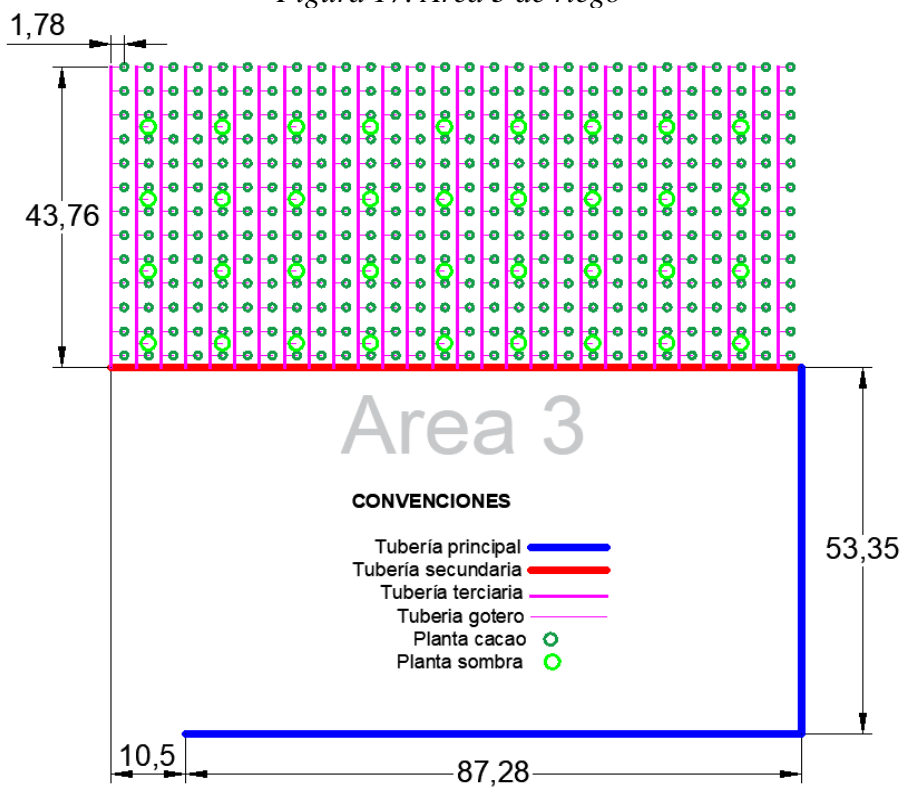
Fuente: datos propios del diseño.

Figura 16. Área 2 de riego



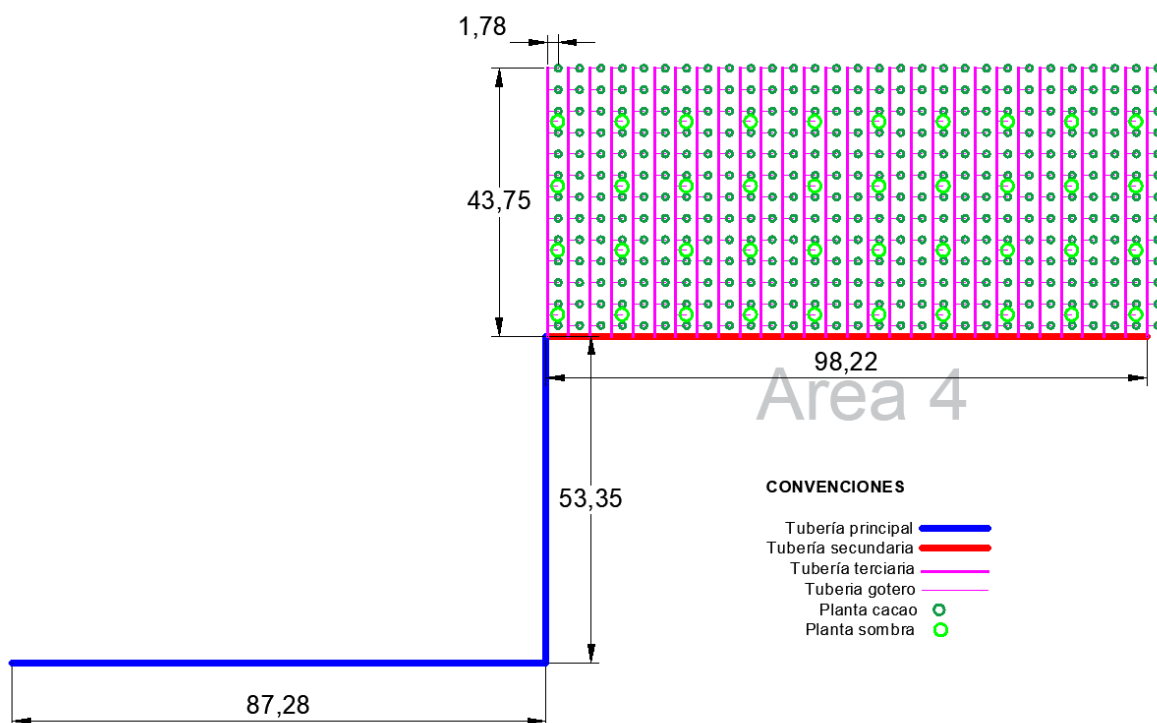
Fuente: datos propios del diseño.

Figura 17. Área 3 de riego



Fuente: datos propios del diseño.

Figura 18. Área 4 de riego



Fuente: datos propios del diseño.

De las anteriores 4 áreas que componen el área total del cultivo, se sugiere trabajar de esta manera para poder tener más control en cada individuo arbóreo, ya que, al haber varias ramificaciones, permite que el mantenimiento sea en la sección o el arrea correspondiente.

### 8.6. Calculo y diseño de volumen de tanque de almacenamiento

ya como se conoce la necesidad de agua ahora se determina el volumen del tanque de almacenamiento, para esto hay que tener en cuenta que el molino trabajara 12 horas al día en la captación y suministro, también que el caudal de demanda es de  $13.43\text{m}^3/\text{día}$ , en la tabla 18, aplicando el método de López Cualla (2003), generando un listado de datos los cuales se determinara el comportamiento del suministro y del consumo, determinando la curva integral

determinando el volumen final del tanque, en la tabla 18, se encuentran los datos para el correspondiente calculo y así determinar el volumen.

*Tabla 18. Tabla para determinar el volumen del tanque de almacenamiento*

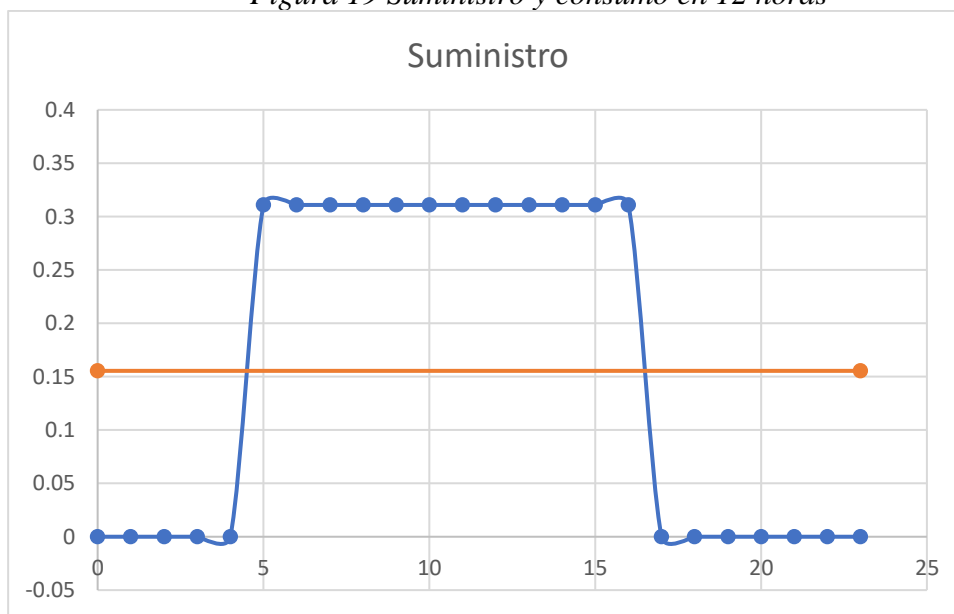
Hora	tiempo (h)	% Volumen	Volumen por hora (m3)	Qh (l/s)	Volumen acumulado(m3)	
12:00:00 a. m.	01:00:00 a. m.	0	0	0	0	
01:00:00 a. m.	02:00:00 a. m.	1	0	0	0	
02:00:00 a. m.	03:00:00 a. m.	2	0	0	0	
03:00:00 a. m.	04:00:00 a. m.	3	0	0	0	
04:00:00 a. m.	05:00:00 a. m.	4	0	0	0	
05:00:00 a. m.	06:00:00 a. m.	5	8,33	1,12	0,3108796	1,1191667
06:00:00 a. m.	07:00:00 a. m.	6	8,33	1,12	0,3108796	2,2383333
07:00:00 a. m.	08:00:00 a. m.	7	8,33	1,12	0,3108796	3,3575
08:00:00 a. m.	09:00:00 a. m.	8	8,33	1,12	0,3108796	4,4766667
09:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	9	8,33	1,12	0,3108796	5,5958333
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	10	8,33	1,12	0,3108796	6,715
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	11	8,33	1,12	0,3108796	7,8341667
12:00:00 p. m.	01:00:00 p. m.	12	8,33	1,12	0,3108796	8,9533333
01:00:00 p. m.	02:00:00 p. m.	13	8,33	1,12	0,3108796	10,0725
02:00:00 p. m.	03:00:00 p. m.	14	8,33	1,12	0,3108796	11,191667
03:00:00 p. m.	04:00:00 p. m.	15	8,33	1,12	0,3108796	12,310833
04:00:00 p. m.	05:00:00 p. m.	16	8,33	1,12	0,3108796	13,43
05:00:00 p. m.	06:00:00 p. m.	17	0	0	0	13,43
06:00:00 p. m.	07:00:00 p. m.	18	0	0	0	13,43
07:00:00 p. m.	08:00:00 p. m.	19	0	0	0	13,43
08:00:00 p. m.	09:00:00 p. m.	20	0	0	0	13,43
09:00:00 p. m.	10:00:00 p. m.	21	0	0	0	13,43
10:00:00 p. m.	11:00:00 p. m.	22	0	0	0	13,43
11:00:00 p. m.	12:00:00 a. m.	23	0	0	0	13,43
Total		100	13,43	0,1554398		

*Fuente: datos propios del diseño.*

El suministro se realizará de 5am a 5pm para un total de 12 horas de bombeo, siguiente grafica refleja el comportamiento del suministro en con relación al caudal de diseño (Figura 19).



Figura 19 Suministro y consumo en 12 horas



Fuente: datos propios del diseño.

Figura 20. Curva integral para el volumen del tanque.



Fuente: datos propios del diseño.

Como lo muestra la figura 20, se puede verificar las dos curvas tanto negativas como positivas, la suma de esos dos volúmenes general el volumen total del tanque dichos comportamientos de la curva arrojan como resultado dos volúmenes los cuales sumados se obtendrá el volumen total del tanque..

*Tabla 19. Volumen total del tanque*

Volumen Total	6,42304348 m <sup>3</sup>
Volumen Superior	4,0873713 m <sup>3</sup>
Volumen inferior	2,33567217 m <sup>3</sup>

*Fuente: datos propios del diseño.*

$$h = \frac{V}{3} + K \quad , \text{ (ecuación empírica dimensionamiento tanque)}$$

$$h = \frac{0.0642}{3} + 2$$

$$h = 2.00\text{m}$$

$$h * L * L = 6.42$$

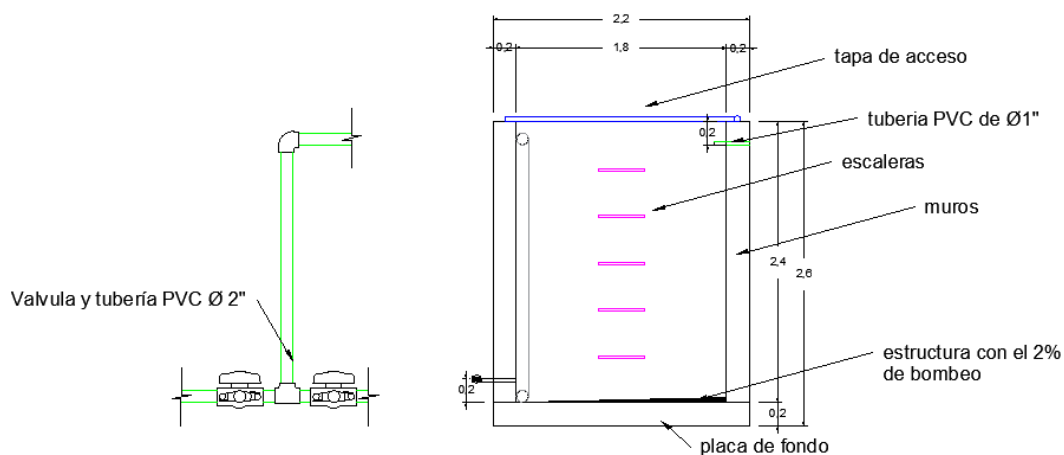
$$L^2 = 6.42 / 2.00$$

$$L = \sqrt{\frac{6.42}{2.00}}$$

$$L = 1.80\text{m}$$

Las dimensiones según la formula empírica son: altura (h) es 2.00m aproximados ya que el resultado fue de 2.02m y por razones constructivas se aproxima a 2.00m y a su vez se le aumenta el 20% de la altura dejando un espacio libre de reboce. las paredes de este son de longitud (L) igual a 1.80, la Figura 21, representan el dimensionamiento del tanque:

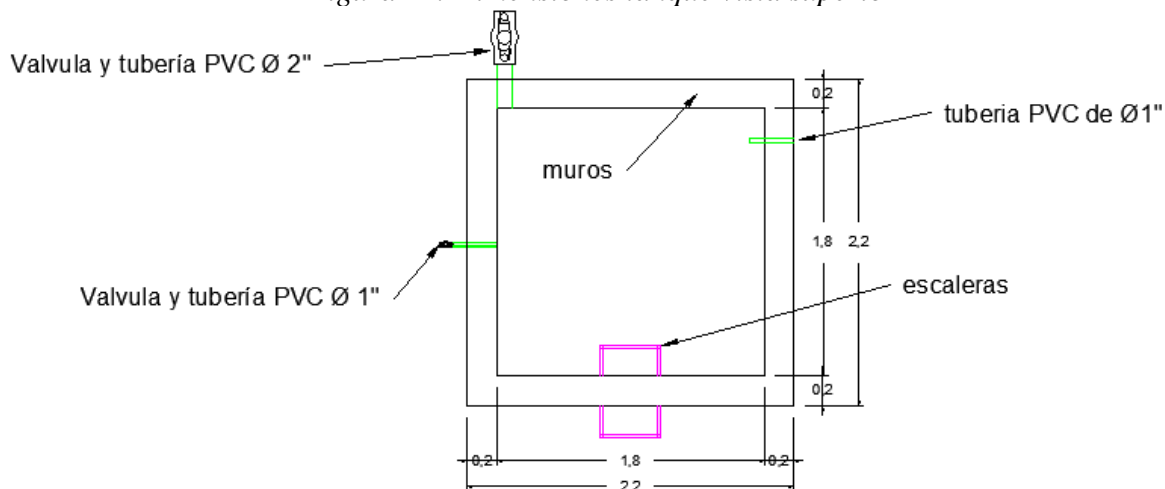
Figura 21. Dimensiones de tanque corte lateral



Fuente: diseños propios utilizando AutoCAD 2019.

En la vista lateral se aprecian dimensiones y elementos como: tapa de acceso, escaleras para acceso, muros,

Figura 22. Dimensiones tanque vista superior



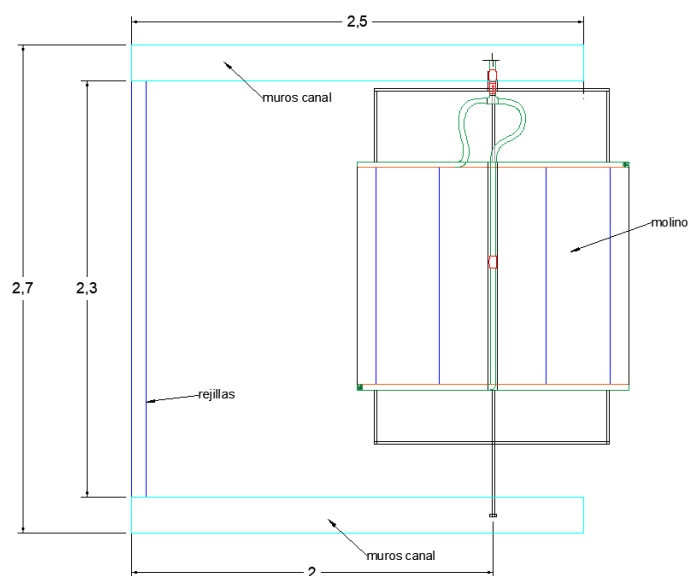
Fuente: diseños propios utilizando AutoCAD 2019.

Para la captación de agua se implementará un canal de 2,3m de ancho (ingreso del agua) y de 2.5m de largo en donde el molino se anclará en la distancia de 2.0m desde el ingreso, la siguiente

figura (Figura), la altura de este canal desde 1.0m, en donde el fondo hasta la lámina de agua será de 0.80m columna de agua.

### 8.7. Canal de captación y rejilla .

*Figura 23. Canal, molino y rejillas*



*Fuente: diseños propios utilizando AutoCAD 2019.*

A continuación, se determinará la velocidad con que ingresa el fluido, caudal generado y tipo de flujo.

Para la rejilla, en donde se utilizará varilla lisa  $\varnothing 1/2$ , se realizará con separación de entre barrotes de 5cm horizontales y 5cm verticales.

Según la Tabla 5, el caudal promedio desde el año 2011 al año 2020 (10 años) es  $1094.2\text{m}^3/\text{s}$

Para determinar la velocidad del río, se necesita el área transversal, para esto determinamos la batimetría, caracterizando geoméricamente el río, cabe aclarar que este método se realizó de manera empírica en campo ya que en este punto no se encontró información y las entidades

gubernamentales no suministraron esta información. La tabla 20, suministran valores de distancia horizontal y profundidad del río:

### 8.8. Geometría transversal del río Magdalena

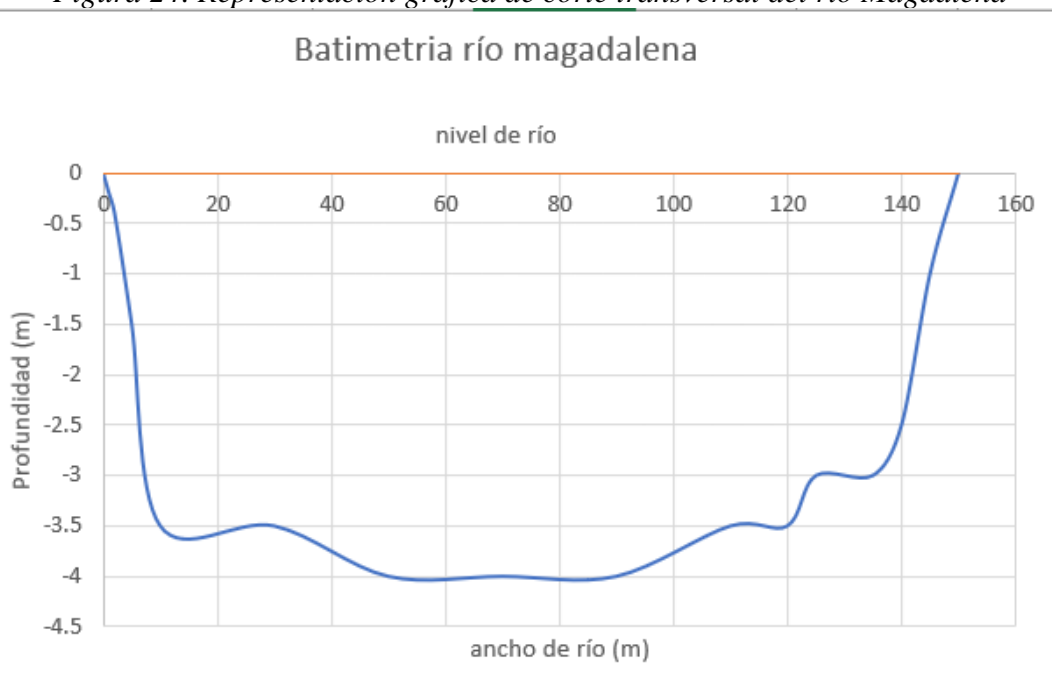
*Tabla 20 Datos geométricos transversales del río Magdalena.*

Distancia horizontal (m)	Profundidad respecto nivel río (m)	Profundidad respecto nivel río (
0	0	0
1	0.2	-0.2
2	0.4	-0.4
5	1.5	-1.5
10	3.5	-3.5
30	3.5	-3.5
50	4	-4
70	4	-4
90	4	-4
110	3.5	-3.5
120	3.5	-3.5
125	3	-3
135	3	-3
140	2.5	-2.5
145	1	-1
150	0	0

*Fuente: datos propios del diseño.*

A continuación, se realiza la representación gráfica de la Tabla 21, partiendo de los datos para una mejor representación.

Figura 24. Representación gráfica de corte transversal del río Magdalena



Fuente: datos propios del diseño.

Con el corte transversal se determina longitudes horizontales y profundidades, teniendo la profundidad del río y con respecto al nivel 0 del río, se determina el área transversal la cual para el la cual en este caso el área es de  $459\text{m}^2$ , teniendo el caudal podemos determinar la velocidad de flujo.

$$Q = V \cdot A$$

$$V = Q/A$$

$$V = \frac{1094.2\text{m}^3/\text{s}}{470.75\text{m}^2}$$

$$V = 2.32\text{m/s}$$

### 8.9. Velocidad empírica sobre zona de estudio.

Por método experimental, se realizó el ejercicio de colocar un elemento flotante (balón), colocarlo en donde se pretende realizar la captación, se estableció una longitud de 2 metros y anotar el tiempo en el que el elemento flotante tarda en recorrer los 2 metros, la siguiente tabla representa los valores anteriormente descritos:

*Tabla 21. Toma de velocidades con método empírico.*

Tiempo (s)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)
2.89	2	0.69
2.57	2	0.78
2.39	2	0.84
2.55	2	0.78
3.07	2	0.65
2.59	2	0.77
2.67	2	0.75
3.15	2	0.63
2.80	2	0.71
2.42	2	0.37
	Velocidad promedio	0.74

*Fuente: datos propios del diseño.*

### 8.10. Cálculos respecto a diseños planteados.

Para este capítulo se aclara que los cálculos correspondientes y pertinentes, se realizan con los diseños planteados y realizados en AutoCAD 2019.

Para determinar el tipo de flujo en canales abiertos determinamos el número de Reynolds, para ello se determina el Radio hidráulico ( $D_h$ ) en canales abiertos, la velocidad ( $V$ ) en el punto y la viscosidad cinemática ( $\nu$ ).

$$V = 0.74 \text{ m/s}$$

$$\mu = 9.12 \times 10^{-5} \text{ (kg. s/m}^2\text{) a } 25^\circ\text{C}$$

$$\rho = 101.67 \text{ (kg.s}^2\text{/m}^4\text{)}$$

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$v = \frac{9.12 \times 10^{-5} \text{ kg.} \frac{\text{s}}{\text{m}^2}}{101.67 \text{ kg.} \frac{\text{s}^2}{\text{m}^4}}$$

$$v = 8.97 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{/s}$$

Se procede a determinar el Radio hidráulico (Dh) para canales abiertos, su ecuación es la siguiente:

$$Dh = \frac{4ab}{2a + b}$$

a = altura de 0.8m

b = ancho de 2.3m

$$Dh = \frac{4(0.8)(2.3)}{2(0.80) + (2.3)}$$

$$Dh = 1.89\text{m}$$

Ahora se puede determinar el número de Reynolds para canales abiertos:

$$Re = \frac{4RV}{v}$$

$$Re = \frac{4(1.89)(0.74)}{(8.97 \times 10^{-7})}$$



$$Re = 6'236.789,3$$

Ya que el número de Reynolds cumple la condición de  $10.000 \leq Re$ , se prosigue continuando con la velocidad media para determinar el flujo uniforme se aplica la fórmula de Chezy, pero para determinarlo hay que primero determinar el coeficiente de Chezy:

$$C = \frac{1}{n} Dh^{\frac{1}{6}}$$

Determinamos el coeficiente de rugosidad de Manning (n), el cual se encuentra en la Tabla 9, para este caso para canales rectos  $n = 0.023$  y se procede a determinar el coeficiente de Chezy:

$$C = \frac{1}{0.023} (1.89)^{\frac{1}{6}}$$

$$C = 48,34$$

$$V = C\sqrt{Dh \cdot S}$$

$$V = 48.34\sqrt{(1.89)(0.002)}$$

$$V = 2.97\text{m/s.}$$

El prototipo que se pretendía diseñar no se pudo realizar por la imposibilidad de viajar dado al Covid-19, se plantean los diseños planteados para esta construcción y los cálculos implementados en este trabajo, son producto de estos diseños.

Obteniendo la velocidad media, se determina la velocidad angular:

$$\omega = \frac{V}{r}$$

V= Velocidad media, 2.97m/s

$r =$  Radio del molino 0.75m

$$\omega = \frac{2,97m/s}{0.75m}$$

$$\omega = 3.96rad/s$$

$$\omega = 38rpm$$

A continuación, se presenta la tabla 22, con diferentes velocidades y radio constante, con el fin de determinar la velocidad angular para cada velocidad, para ello se relacionan 4 velocidades determinando así la cantidad de giros por minuto o revoluciones por minuto (rpm):

*Tabla 22. Velocidad angular*

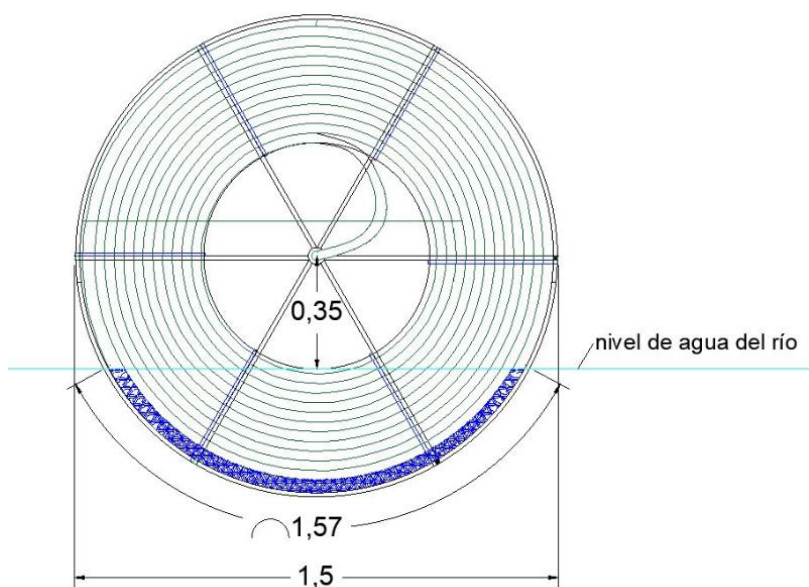
Velocidad (m/s)	radio (m)	Velocidad angular (rad/s)	Velocidad angular (rpm)
0.50	0.75	0.67	6
1.00	0.75	1.33	13
2.00	0.75	2.67	25
2.97	0.75	3.96	38

*Fuente. Cálculos propios del diseño.*

En la tabla anterior se representaron diferentes velocidades las cuales determinan una velocidad angular, dicha velocidad angular para en cada caso, se puede determinar el volumen que capta, así como lo muestra la siguiente tabla (tabla 24), en donde cuyo sistema está dado por una tubería de 1 pulgada, diferentes velocidades angulares, las cuales generan cierta cantidad de giros para captar un volumen constante en un tiempo determinado.

A continuación, se presenta el volumen captado por cada giro que da el molino, se presenta la sección la cual ingresara el agua (sección circular) para determinar el volumen por unidad de tiempo captado.

Figura 25. Espirales de manguera del molino con relación al agua captada.



Fuente. Cálculos propios del diseño, utilizando AutoCAD 2019.

Con el volumen captado en la tubería de 1" en la longitud de arco resaltada en la figura 25, se determina que con cada giro se captara aproximadamente un volumen de 0.0008, el cual se puede relacionar con diferentes velocidades y determinar el caudal captado con cada una de ellas, para este proyecto, como el suministro son 12 horas, con una velocidad de 2.97 m/s , (como se muestra en la tabla 24 resaltado en amarillo), se determina que el volumen captado en las 12 horas del día sería de 21,66 metros cúbicos.

Dicho lo anterior y con la tabla 23, se puede determinar que para suplir la necesidad de 13.43m<sup>3</sup>/s, se puede suplir esta de manda con la velocidad de 2.00m/s, la cual cubriría 14.59 m<sup>3</sup>, en las 12 horas en las que el molino estará en servicio.

Tabla 23. Cantidad de volumen captado en un tiempo determinado.

tubería de 1" , v= 0.5 m/s			
radio (m)	Longitud Arco (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
0.0127	1.57	0.0005	0.0008
tiempo	Numero giros		
1min	6		0.0051
1hora	382		0.3039
12horas	4584		3.6464
tubería de 1" , v= 1.0 m/s			
radio (m)	Longitud Arco (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
0.0127	1.57	0.0005	0.0008
tiempo	Numero giros		
1min	13		0.0101
1hora	764		0.6077
12horas	9167		7.2929
tubería de 1" , v= 2.00 m/s			
radio (m)	Longitud Arco (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
0.0127	1.57	0.0005	0.0008
tiempo	Numero giros		
1min	25		0.0203
1hora	1528		1.2155
12horas	18335		14.5858
tubería de 1" , v= 2.97m/s			
radio (m)	Longitud Arco (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
0.0127	1.57	0.0005	0.00080
tiempo	Numero giros		
1min	38		0.03008
1hora	2269		1.80499
12horas	27227		21.65988

Fuente: Cálculos propios del diseño.

Se procede a determinar el caudal con la fórmula de Manning

$$Q = A \cdot \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

R = Dh =radio hidráulico

S = 0.002

n = 0.023

A= 0.80m x 2.3m = 1.84m<sup>2</sup>

$$Q = 1.84 \cdot \left(\frac{1}{0.023}\right) \cdot (1.89)^{\frac{2}{3}} \cdot (0.002)^{\frac{1}{2}}$$

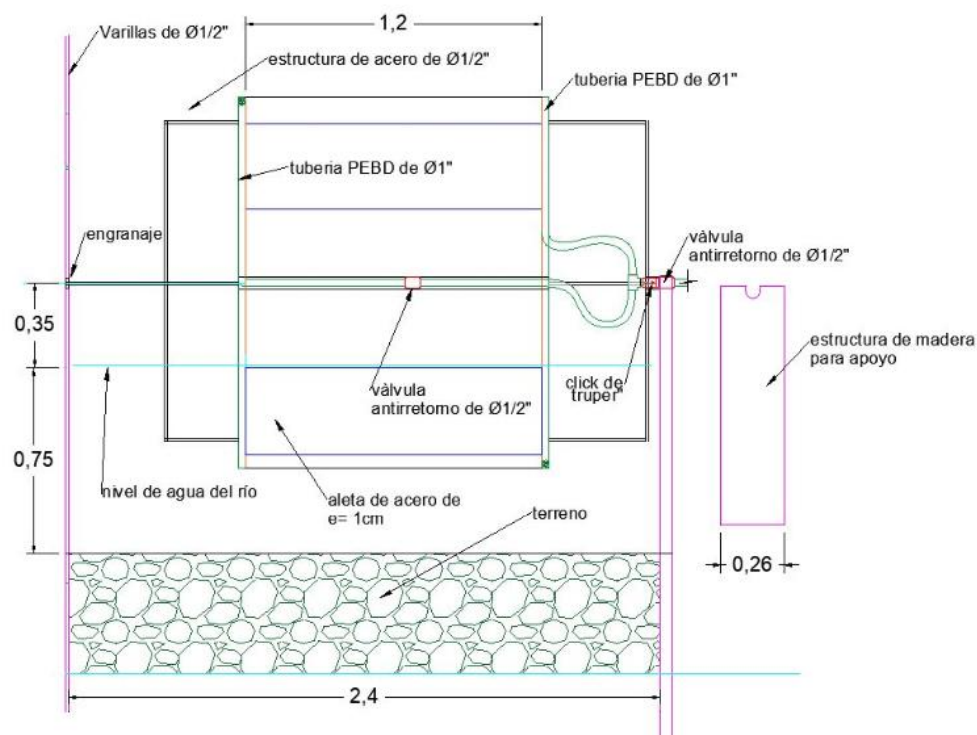
$$Q = 5.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

A continuación, se presenta el diseño propuesto para el molino (Figura 24), dicho modelo cuenta con un diámetro de 1.50 cm, dos válvulas antirretorno que son la parte fundamental de este proyecto ya que permite que el agua vaya en una sola dirección y el accesorio click truper el cual permite conectar el molino el cual va a girar con una tubería que se encuentra estática. De lo anterior descrito, son los componentes más importantes para la implementación de este molino o de lo contrario este no funcionaría como pretende este proyecto.

En la figura se muestran los accesorios de ½”, pero en la aplicación desde la captación hasta el tanque de almacenamiento la tubería, accesorios y válvulas se implementarán de 1”.

Del eje del molino al fondo del río, habría un promedio aproximado de 1.10 metros y de la parte superior de la aleta al fondo una altura de 75 centímetros, todo esto buscando la una profundidad libre la cual permita que el molino gire libremente.

*Figura 26. Molino, diseño y componentes*



*Fuente: diseños propios utilizando AutoCAD 2019.*

Para determinar la fuerza de la corriente de agua en el canal, que se ejerce sobre las aspas de acero, primero se determina el Momento lineal y se procede:

$$F = \frac{dmv}{dt}$$

La cantidad de masa respecto en un segundo se determina así:

$$Q = 5.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}, \text{ el volumen en un segundo}$$

$$Q = \frac{5.46 \text{ m}^3}{1 \text{ s}}$$

Volumen de  $5.46 \text{ m}^3$  en un segundo, ahora determinamos la cantidad de masa con la fórmula de densidad:

$$\rho = \frac{m}{Vol}$$

$$m = v \cdot \rho$$

$$m = (5.46 \text{ m}^3)(997.07 \text{ kg/m}^3)$$

$$m = 5444 \text{ kg}$$

$$F = \frac{dmV}{dt}$$

$$F = 5444 \text{ kg} \times 2.97 \text{ m/s}$$

$$F = 16.168 \text{ kg.m/s}$$

Ahora determinamos la presión hidráulica la cual necesita el molino para suministrar el agua al tanque.

$$P = wQH$$

Donde:

$P$  = Potencia

$w$  = peso específico ( $997.07 \text{ kg/m}^3$ )

$Q$  = Caudal en peso ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

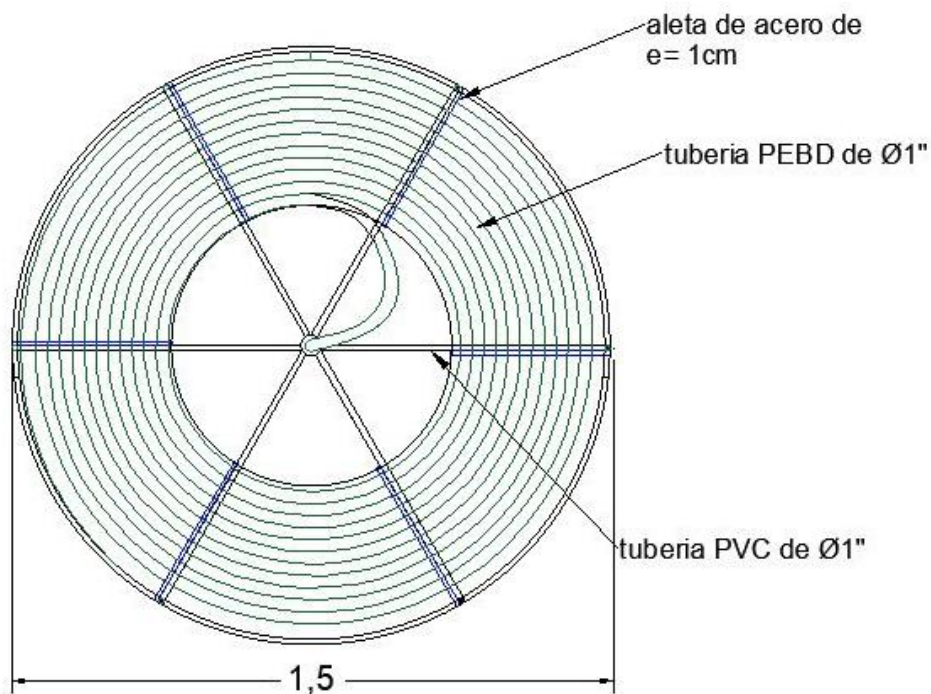
$H$  = energía ( $\text{kg.m}$ )

$$P = (997.07\text{km/m}^3)(0.0005066)(180)$$

$$P = 90.92\text{watts}$$

$$P = 0.12\text{hp}$$

*Figura 27. Molino propuesto con tubería PEBD de 1''*



*Fuente: diseños propios utilizando AutoCAD 2019.*

Se podría determinar con la fuerza o momento lineal, la fuerza que ejerce sobre las aspas y este a su vez la cantidad de movimiento, pero para el presente proyecto se realizó la medición con el molino artesanal y en la siguiente tabla (tabla 24), se relacionan los valores obtenidos.



*Tabla 24. Datos obtenidos con molino artesanal*

Datos obtenidos con molino artesanal, agua captada		
Radio molino	0.3	m
Tubería	Ø 1/2 "	
Velocidad tangencial	2,5	m/s
cada 4 segundos capta	0.00317	m <sup>3</sup>
en 1 minuto	0.04755	m <sup>3</sup>
en 1 hora	2.853	m <sup>3</sup>
en 1 día	68.472	m <sup>3</sup>

*Fuente: cálculos propios del diseño.*

Como el volumen captado en un día es de 68.472 m<sup>3</sup>/día y el del diseño es de 13,43 m<sup>3</sup>/día para 2h, entonces se puede inferir que se podría suministrar para 10ha, (a la misma cota)

*Tabla 25. Datos asumidos con aumento de diámetro.*

Datos supuestos aumentando el diámetro		
Radio molino	0.3	m
Tubería	Ø 1/2 "	
Velocidad tangencial	2,5m/s	
cada 4 segundos capta	0.0127	m <sup>3</sup>
en 1 minuto	0.1905	m <sup>3</sup>
en 1 hora	11.43	m <sup>3</sup>
en 1 día	274.32	m <sup>3</sup>

*Fuente: diseños propios utilizando.*

Para determinar la carga total del flujo a lo largo de la conducción se aplicará la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V1^2}{2} + Z1g = \frac{P}{\rho} + \frac{V2^2}{2} + Z2g$$

Donde:

H = Carga total para el flujo (m)

P = Presión (N/m<sup>2</sup>)

$g$  = Gravedad ( $9.81\text{m/s}^2$ )

$\rho$  = densidad ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = Velocidad ( $\text{m/s}$ )

$z$  = Carga de elevación: energía potencial

$\frac{P}{\rho g}$  = Carga de presión: esta carga de presión es producida por P estática, la cual representa

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g + h_{\text{bombeo}} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g$$

$$P_1 = \rho g h_1$$

$$P_1 = (997.07)(9.8)(0)$$

$$P_1 = 0$$

$$P_2 = (997.07)(9.8)(6)$$

$$P_2 = 58,627.71$$

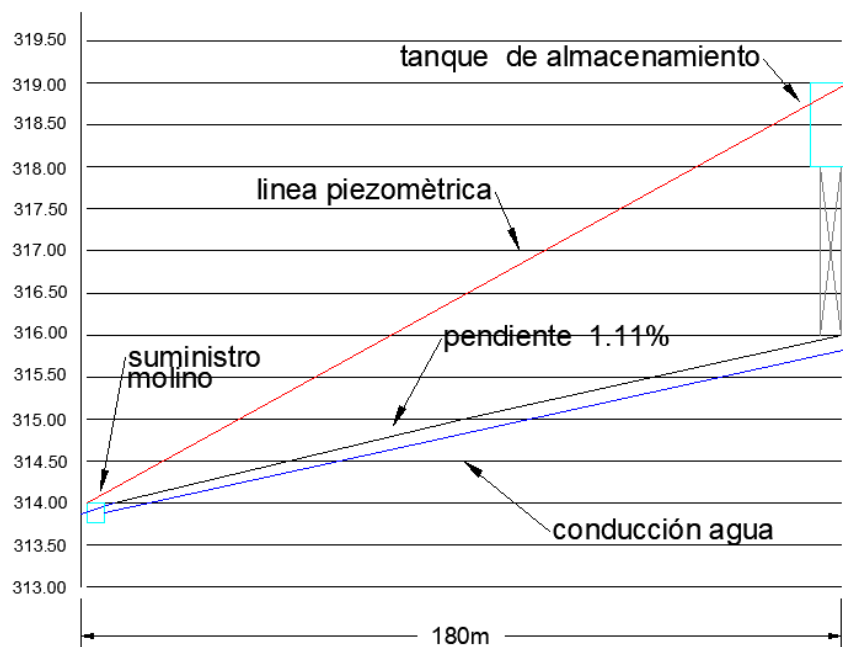
$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g + h_{\text{bombeo}} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g$$

$$0 + 0 + 0 + h_{\text{bombeo}} = \frac{58,627.71}{997.07} + 0 + (9.8)(5)$$

$$h_{\text{bombeo}} = 106.79\text{m}$$

cabeza necesaria para que la bomba pueda, en este caso el bombeo por el molino pueda elevar el molino, a continuación, se presenta perfil el representa las pendientes, cotas y ubicación del canal de captación y del tanque de almacenamiento.

Figura 28, Perfil altimétrico terreno.



Fuente: diseños propios utilizando AutoCAD 2019.

En la figura anterior (Figura 27), se determina el perfil del terreno, por la poca información recolectada, se trabaja con la cota del río, cota donde se instalará el tanque y cota superior del tanque de almacenamiento, la pendiente en este caso es del orden del 1.11% y se toma como una pendiente constante.

## 9. METODOLOGÍA

Siguiendo el principio del molino hidráulico y la bomba Barsha, se diseñará un molino el cual se adapte a las condiciones del cuerpo de agua que va a captar, captada el agua, el molino obtendrá unos accesorios que eviten que el agua se devuelva ya que este abastecimiento de agua va a cotas superiores y así poder llegar a un tanque de almacenamiento (este último es opcional).

Se pretende diseñar el molino siguiendo modelos básicos, pero a criterio propio adaptándolo a la necesidad y gusto. Su funcionamiento mecánico también será diseñado a criterio propio, buscando métodos nuevos e innovadores, para esto se realizarán bocetos a mano alzada y el programa AutoCAD para representarlo.

Inicialmente se pretende abastecer 2 hectáreas, pero la finalidad es poder medir el caudal que se puede captar y que área se puede cubrir, así poder hacer una relación de diferentes caudales con sus correspondientes áreas. Lo anterior descrito va en relación con el diámetro de la tubería y la corriente de agua que genera la energía hidráulica.

Es necesario tener la información cartográfica y topográfica, entonces es necesario dirigirse al IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), para obtener esta información.

De igual manera inicialmente se propone un sistema por goteo, pero según los resultados que arroje el proyecto, se podrá determinar si aplica para otros sistemas de riego, ya que según cual sea el cultivo a si mismo será la cantidad de agua la cual necesita.

Para el abastecimiento de agua producto del molino el cual extrae el agua del río, se considerará un caudal constante a lo largo del abastecimiento, el cual se captará por un canal el cual se captará debido a lo inestable que pudiera llegar a ser el lecho del río, dicho canal se plantea su construcción en concreto para su fijación y duración.

Una vez teniendo el canal se instalará el molino a una profundidad respecto al eje de este, con el fondo del río de 1.10 metros ( los muros del canal generan la opción de graduar el molino para obtener la altura adecuada).

Con la energía generada por la corriente del río generan el movimiento del molino y este a su vez por los conductos de las mangueras que se encuentran en los extremos del molino, este movimiento genera el bombeo del agua, para esto es muy importante la incorporación de la válvula antirretorno para que a medida que genera la inducción de agua, evite que esta se devuelva y cada vez que ingrese el agua por el movimiento del molino, esta genera un empuje.

Cuando llegue el agua al tanque de almacenamiento por bombeo del molino, este distribuirá el agua al sistema de riego por goteo, supliendo la demanda de cada individuo arbóreos, para esto hay 3 líneas de tubería, principal, secundaria y terciaria, esta última se conectará a los goteros según se adapten al diseño lo cual se implementan según la necesidad.

## 10. CONCLUSIONES.

La implementación de un artefacto ya sea un molino artesanal u otro tipo elemento que sustituya la motobomba y/o electrobomba, beneficiaria a la población que lo implemente, ya que generaría ahorros económicos, por consiguiente, se recomendaría que los manuales o proyectos generados para este fin, sean muy sencillos para la implementación y ejecución de estos.

La información disponible para este caso en estudio fue muy limitada y los entes gubernamentales los cuales se solicitó información no respondieron (para este proyecto), y la información, como batimetría y topografía (la altimetría suministrada por el IGAC, en el punto de estudio no generaba suficiente información para este caso) fue suministrada por mediciones manuales y básicas.

Se pretendía crear un artefacto el cual se implementaría en el sitio de estudio ya que había patrocinio por un ente particular, pero no fue posible su efectuación ya que por la pandemia generada por el Covid-19, no permitió el efectuar el viaje al lugar y por consiguiente los valores efectuados se realizaron con un molino a escala.

Con la información recopilada respecto a la implementación de sistemas de riego, se pudo llegar a inferir, que es deficiente la implementación de estos sistemas para la implementación del riego, a pesar de que la alcaldía pretende extender estos sistemas de riego según su POT, la no implementación de estos generaría tierras improductivas.

El sistema de riego por goteo es el sistema más eficiente en cuanto al aprovechamiento del recurso hídrico (siempre y cuando se implemente de la manera correcta), para cultivos los cuales soliciten un bajo caudal de demanda.

Para el cultivo de cacao las precipitaciones no son suficientes demostrado con la información del IDEAM, por lo cual la implementación de estos cultivos, por obligación habría que implementar cualquier sistema de riego que pueda suplir la necesidad de agua o sin esta implementación, el crecimiento óptimo de estas plantas se verá damnificado, hasta llegando a generar la muerte de estos individuos arbóreos.

Este proyecto busca ser adoptado y complementado en el campo de la investigación para la aplicación, con nuevos métodos y recomendaciones, para determinar mejores y nuevos artefactos en búsqueda de mejorar el sector agrícola y agronómico.

la velocidad tangencial requerida mínima para un diámetro de molino de 1.5m, para una tubería de 1in (pulgada) es de 2.00m/s, la cual generará una velocidad angular de 2.67m/s la cual cubriría 14.59 m<sup>3</sup> en las 12 horas en las que el molino estará en servicio.

## 11. REFERENCIAS

- Alcaldía de Natagaima Tolima. (2003). *Esquema de ordenamiento territorial municipio de Natagaima*. Obtenido de Alcaldía de Natagaima Tolima: [https://natagaimatolima.micolombiadigital.gov.co/sites/natagaimatolima/content/files/000024/1152\\_eot.pdf](https://natagaimatolima.micolombiadigital.gov.co/sites/natagaimatolima/content/files/000024/1152_eot.pdf)
- Alcaldía de Natagaima Tolima. (05 de 10 de 2017). *Descripción y diviciones de Natagaima*. Obtenido de Alcaldía de Natagaima Tolima: <http://www.natagaima-tolima.gov.co/municipio/mapas>
- Alcaldía de Natagaima Tolima. (04 de 10 de 2017). *Economía*. Obtenido de Alcaldía de Natagaima Tolima: <http://www.natagaima-tolima.gov.co/municipio/economia>
- Alcaldía de Natagaima Tolima. (04 de 10 de 2017). *Munucipio*. Obtenido de Alcaldía de Natagaima Tolima: <http://www.natagaima-tolima.gov.co/municipio/geografia>
- Algarra, R. (19 de 10 de 2011). *Univeridad Cardenal Herrera*. Obtenido de PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES, ESPIRAL DE ARQUÍMEDES, TORNILLO DE ARQUÍMEDES, CRÁTER DE ARQUÍMEDES, MONTES DE ARQUÍMEDES, RIMA O FISURA DE ARQUÍMEDES: <https://blog.uchceu.es/eponimos-cientificos/principio-de-arquimedes-esprial-de-arquimedes-tornillo-de-arquimedes-crater-de-arquimedes-montes-de-arquimedes-rima-o-fisura-de-arquimedes/>
- AQysta. (2019). *AQysta Innovation for impact*. Obtenido de Visiting the Farmers in Nepal: An Employee's Experience: <https://www.aqysta.com/stories/visiting-the-farmers-in-nepal-an-employees-experience/>



Aqysta Innovating For Impact. (2019). *Aqysta*. Obtenido de Our Theory of Change:

<https://www.aqysta.com/impact/>

BUN-CA Biomass Users Network. (09 de 2002). *BUN-CA Fundación Red de Energía*. Obtenido

de Manuales sobre energía renovable Hidráulica a pequeña escala:

[http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/manuales-sobre-energia-renovable-hidraulica-a-](http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/manuales-sobre-energia-renovable-hidraulica-a-pequena-escala/)

[pequena-escala/](http://cidoc.marn.gob.sv/documentos/manuales-sobre-energia-renovable-hidraulica-a-pequena-escala/)

Caracol Radio. (01 de 09. de 2019). *Caracol Radio*. Obtenido de Bomberos de Natagaima, Tolima

enfermos

por

incendios:

[caracol.com.co/emisora/2019/09/01/ibague/1567360686\\_753451.html](http://caracol.com.co/emisora/2019/09/01/ibague/1567360686_753451.html)

Carvajal Escobar, Y., Quintero Angel, M., & Puertas Orozco, O. (06 de 2011). *ESTUDIO DE*

*TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL EN LA CUENCA ALTA-MEDIA DEL*

*RÍO CAUCA, COLOMBIA*. Obtenido de Scielo Scientific Electronic Library Online:

<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n169/a13v78n169.pdf>

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL TOLIMA. (10 de 09 de 2020). *Permiso de*

*ocupación de cauces, playas y lechos*. Obtenido de Visor SUIT:

<http://visor.suit.gov.co/VisorSUIT/index.jsf?FI=19059>

Cortolima. (16 de 08 de 2019). *Cortolima sigue haciéndole frente a los incendios forestales*.

Obtenido de Cortolima sigue haciéndole frente a los incendios forestales:

<https://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/cortolima-sigue-haci-ndole-frente->

[incendios-forestales](https://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/cortolima-sigue-haci-ndole-frente-)

DANE INFORMACION PARA TODOS. (27 de 10 de 2020). *ACCESO A SERVICIOS*

*PUBLICOS*. Obtenido de CENSO NACIONAL DE POBLACION Y VIVIENDA 2018-

COLOMBIA: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/como-vivimos>

Díaz, L. C. (14 de 09 de 2011). *La Industria Harinera en Duitama-Boyacá 1920-1940*. Obtenido de Scielo: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-63572012000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-63572012000100009&lng=en&nrm=iso)

EL NUEVO SIGLO. (09 de 03 de 2015). *EL NUEVO SIGLO*. Obtenido de Impulsan el cultivo de cacao en el Tolima: <https://elnuevosiglo.com.co/articulos/3-2015-impulsan-el-cultivo-de-cacao-en-el-tolima>

FAO. (s.f.). *La importancia de la agricultura en la actualidad*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/008/a0015s/a0015s04.htm#TopOfPage>

Flores Arroyuelo, F. J. (1993). *El molino*. Murcia: Editum. Ediciones de la Universidad de Murcia. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/reader.action?docID=4776061&query=molino%2Bhidraulico>

FRANQUET BERNIS, J. M. (2005). *CÁLCULO HIDRÁULICO DE LAS CONDUCCIONES LIBRES Y FORZADAS*. Cataluña: Universidad Internacional de Cataluña y de la Asociación de Ingenieros. Recuperado el 09 de 2019, de [https://books.google.com.co/books?id=9N39ejFnYj8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=9N39ejFnYj8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACION AGRICOLA. (2004). *Cultivo de cacao bajo sombra de maderables o frutales*. La Lima Cortes: S/I.

GESTIRIEGO. (2015). *GESTIRIEGO*. Obtenido de AgriExpo:  
[https://pdf.agriexpo.online/es/pdf/gestiriego/catalogo/184970-18703-\\_17.html](https://pdf.agriexpo.online/es/pdf/gestiriego/catalogo/184970-18703-_17.html)

González Arias , J., & Gómez Alarcón, C. (Mayo de 2015). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de Tolima: Análisis de conflictividades y construcción de paz:  
<http://www.co.undp.org/content/dam/colombia/docs/Paz/undp-co-tolimaconflictividades-2015.pdf>

IDEAM. (10 de 2020). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. Obtenido de IDEAM:  
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Lopez Cualla, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Martinez Guerrero, N. (2016 de 2016). *Federación Nacional De Cafeteros* . Obtenido de Fondo Nacional del Cacao: [https://www.fedecacao.com.co/portal/images/Nubia\\_Martinez\\_-\\_Aportes\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_de\\_Fedecacao\\_\\_Fondo\\_Nal\\_del\\_Cacao\\_al\\_incremento\\_de\\_la\\_productividad\\_y\\_reconocimiento\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_cacao\\_en\\_Colombia.pdf](https://www.fedecacao.com.co/portal/images/Nubia_Martinez_-_Aportes_de_la_investigaci%C3%B3n_de_Fedecacao__Fondo_Nal_del_Cacao_al_incremento_de_la_productividad_y_reconocimiento_de_la_calidad_del_cacao_en_Colombia.pdf)

Megh, G., Kenneth H, S., Rúiz Giraldo, H., & Lugo López, M. (S.F). *SCRIB*. Obtenido de Manejo de riego por goteo: <https://es.scribd.com/document/19349339/RIEGO-POR-GOTEO-Libro-Cap04riego-1>

Ministerio de Agricultura de Colombia. (4 de 9 de 2019). *PLAN DEPARTAMENTAL DE EXTENSIÓN AGROPECUARIO*. Obtenido de Ministerio de Agricultura de Colombia:  
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/PDEA%27s%20Aprobados/PDEA%20Tolima.pdf>

Ministerio de Agricultura y riego. (2015). *Manual de Calculo y Eficiencia para Sistema de riego*.

Obtenido de Ministerio de Agricultura y riego de Peru:  
[https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)

NOVAGRIC. (2016). *Tubos de Riego*. Obtenido de Novedades Agrícolas S.A:

<https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/tubos-de-riego>

Ordóñez, J. (20 de 10 de 2020). *Río Magdalena, patrimonio de la humanidad*. Obtenido de UN

Periodico digital : <https://unperiodico.unal.edu.co/pages/detail/rio-magdalena-patrimonio-de-la-humanidad/>

Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y Agricultura. (2011). *Superficie*

*equipada para el riego: total (1000 ha)*. Obtenido de AQUASTAT:  
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=true&yearGrouping=SURVEY&yearRange.fromYear=1960&yearRange.toYear=2015&varGrpIds=4313&regIds=9805,9806,9807,9808,9809&includeRegions=true&showValueYears=true&categoryIds=-1&XAxis=YEA>

Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. (2013). *Superficie*

*potencial de riego*. Obtenido de AQUASTAT:  
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=true&yearGrouping=SURVEY&yearRange.fromYear=1960&yearRange.toYear=2015&varGrpIds=4307&regIds=9805,9806,9807,9808,9809&includeRegions=true&showValueYears=true&categoryIds=-1&XAxis=YEA>

PACVO WAVIN. (2020). *Manual Técnico Tubosistemas Presión PVC*. Colombia: PAVCO.

Palomo Palomo, J., & Fernández Uriel, M. (19 de 11 de 2006). *Revista UNED*. Obtenido de Los molinos hidráulicos en la Antigüedad: <http://revistas.uned.es/index.php/ETFII/article/view/4465>

Perevochtchikova, M., & Garcia Jimenez, F. (2006). *Análisis cualitativo de la red hidrométrica actual del estado de Guerrero, México*. Obtenido de Investigaciones geográficas: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112006000300003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112006000300003&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 2448-7279

RAMIREZ OCAMPO AUGUSTO (Ministro de Desarrollo Económico). (2000). *DOCUMENTACIÓN TÉCNICO NORMATIVA DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y*. Bogotá D.C.

Ramirez, M. (22 de 10 de 2012). *slideshare*. Obtenido de Tornillo de arquímedes: <https://es.slideshare.net/majitoramirez1/tornillo-de-arquemedes-14841175>

Renald V, G. (1995). *Mecanica de Los Fluidos E Hidraulica SHA*. n/a: McGraw-Hill Interamericana.

Revista ARQHYS. (12 de 2012). *ARQHYS.com*. Recuperado el 09 de 2019, de Sistema de abastecimiento de agua.: <https://www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.html>.

Rimache Artica, M. (2008). *Cultivo del Cacao*. Peru: Macro EIRL.

Rincón, M. P. (01 de 10 de 2019). *Portal del Agro*. Obtenido de Bomba Barsha tecnología renovable para el agro: [http://www.portaldelagro.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=648:2018-12-12-22-43-47&catid=39:noticias&Itemid=58](http://www.portaldelagro.com/index.php?option=com_content&view=article&id=648:2018-12-12-22-43-47&catid=39:noticias&Itemid=58)

- Sánchez Reyes, C. (2012). *Cultivo y producción del CACAO*. Lima: Ediciones Ripalme E.I.R.L.
- Sandoval, K. J. (7 de marzo de 2016). *El Campesino*. Obtenido de La agricultura colombiana en el contexto de la globalización: <https://www.elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-globalizacion/>
- Santizàbal Villegas, A. (2004). *Molinos de trigo en la Nueva Granada: siglos XVII-XVIII*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional De Colombia. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=QIVQSgGWfrgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Sayan, D., Siddhart, S., & Venkatesh, M. (08 de 2019). *Evaluación del efecto de diferentes modelos batimétricos en la simulación hidráulica de ríos en regiones con escasos datos*. Obtenido de Revista de hidrología: <https://ezproxy.uan.edu.co:2052/science/article/pii/S002216941930530X>
- Toro Ag Irrigation. (2014). *Catálogo Riego Agrícola*. Obtenido de Toro Ag Irrigation: [https://www.toro-ag.it/public/download\\_file/catalogo%20toro%20spa%20low.pdf](https://www.toro-ag.it/public/download_file/catalogo%20toro%20spa%20low.pdf)
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (04 de 2005). *Región y sociedad*. Obtenido de Sequía, un problema de perspectiva y gestión: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252005000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252005000300002)
- Ventageneradores. (01 de 04 de 2016). *Ventageneradores.net*. Obtenido de Funcionamiento: Cómo Funciona una Bomba de Agua, Motobomba o Electrobomba: <http://www.ventageneradores.net/blog/funcionamiento-como-funciona-una-bomba-agua-motobomba-electrobomba/>

Vide, J. P. (2006). *INGENIERÍA DE RÍOS*. Barcelona: UPC. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=DIDodO5iHEYC&pg=PT79&dq=caudal+maximo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwitm63VysXkAhXhp1kKHTwZDwkQ6AEIKTAA#v=onepage&q=caudal%20maximo&f=false>

Çengel, Y., & Cimbala, J. (2012). *Mecanica de Fluidos fundamenos y aplicaciones* (Vol. Segunda edicion). Mexico: Mc Graw Hill / Interamericana editores S.A de C.V.

## **12.ANEXOS**



**ANEXO 1:****Artículo**

**Título:**

SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO ABASTECIDO POR UN MOLINO HIDRÁULICO  
ARTESANAL

**Autores:**

JULIO CESAR SANCHEZ SUAREZ

**Resumen:**

Utilizando los principios de la bomba Barsha, la implementación de un molino artesanal utilizando estos principios, con el cual se pretende captar el agua con un canal y suministrar el agua bombeada por el molino con finalidad de que esta llegue a un tanque de almacenamiento, para finalmente suministrar el agua al sistema de riego por goteo y esta llegar a su destino final que es el riego de plantas de cacao e individuos arbóreos que le suministran sombra al cacao.

**Palabras clave:**

Cultivo de cacao, energía hidráulica, molino artesanal, molino hidráulico, sistema de riego por goteo, tanque de almacenamiento,

**Abstract:**

Using the principles of the Barsha pump, the implementation of an artisanal mill using these principles, with which it is intended to capture the water with a channel and supply the water pumped by the mill so that it reaches a storage tank, to finally supply the water to the drip irrigation system and it reaches its final destination, which is the irrigation of cocoa plants and arboreal individuals that provide shade for the cocoa.

**Introducción:**

El proyecto se desarrollará en la vereda de Tinajas, municipio de Natagaima departamento del Tolima, en el cual desarrollará un molino artesanal el cual será el instrumento principal para la captación del agua, la cual se obtendrá directamente del río Magdalena, la cual será dirigida por tuberías llegando a un tanque de almacenamiento, el cual distribuirá a una red de sistema de riego, para finalmente hidratar individuos arbóreos de cacao, buscando el beneficio de la comunidad.

Se determinará el mejor molino el cual se adapte a las condiciones propias del proyecto, determinando sus cualidades, funciones y complejidad y se escogió el molino hidráulico que más se adaptó al proyecto tanto en su simplicidad como su funcionalidad.

Después de determinar el molino hidráulico a utilizar, se realizarán los diseños correspondientes, para la fabricación e implementación de este, con esto se busca que la persona interesada de implementar este sistema lo pueda realizar y sustituir la gasolina, el ACPM o la electricidad, e implementar un sistema de captación que implemente la energía hidráulica con un sistema mecánico.

Determinando el caudal necesario, se determinará el diámetro de la tubería utilizar según la necesidad del consumo, la velocidad del fluido, el material de la tubería a implementar, el volumen del tanque de almacenamiento, entre otros factores que al desarrollo de este proyecto se presentaran.

**Metodología:**

Siguiendo el principio del molino hidráulico y la bomba Barsha, se diseñará un molino el cual se adapte a las condiciones del cuerpo de agua que va a captar, captada el agua, el molino

obtendrá unos accesorios que eviten que el agua se devuelva ya que este abastecimiento de agua va a cotas superiores y así poder llegar a un tanque de almacenamiento (este último es opcional).

Se pretende diseñar el molino siguiendo modelos básicos, pero a criterio propio adaptándolo a la necesidad y gusto. Su funcionamiento mecánico también será diseñado a criterio propio, buscando métodos nuevos e innovadores, para esto se realizarán bocetos a mano alzada y el programa AutoCAD para representarlo.

Inicialmente se pretende abastecer 2 hectáreas, pero la finalidad es poder medir el caudal que se puede captar y que área se puede cubrir, así poder hacer una relación de diferentes caudales con sus correspondientes áreas. Lo anterior descrito va en relación con el diámetro de la tubería y la corriente de agua que genera la energía hidráulica.

Es necesario tener la información cartográfica y topográfica, entonces es necesario dirigirse al IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), para obtener esta información.

De igual manera inicialmente se propone un sistema por goteo, pero según los resultados que arroje el proyecto, se podrá determinar si aplica para otros sistemas de riego, ya que según cual sea el cultivo a si mismo será la cantidad de agua la cual necesita.

Para el abastecimiento de agua producto del molino el cual extrae el agua del río, se considerará un caudal constante a lo largo del abastecimiento, el cual se captará por un canal el cual se captará debido a lo inestable que pudiera llegar a ser el lecho del río, dicho canal se plantea su construcción en concreto para su fijación y duración.

Una vez teniendo el canal se instalará el molino a una profundidad respecto al eje de este, con el fondo del río de 1.10 metros ( los muros del canal generan la opción de graduar el molino para obtener la altura adecuada).

Con la energía generada por la corriente del río generan el movimiento del molino y este a su vez por los conductos de las mangueras que se encuentran en los extremos del molino, este movimiento genera el bombeo del agua, para esto es muy importante la incorporación de la válvula antirretorno para que a medida que genera la inducción de agua, evite que esta se devuelva y cada vez que ingrese el agua por el movimiento del molino, esta genera un empuje.

Cuando llegue el agua al tanque de almacenamiento por bombeo del molino, este distribuirá el agua al sistema de riego por goteo, supliendo la demanda de cada individuo arbóreo, para esto hay 3 líneas de tubería, principal, secundaria y terciaria, esta última se conectará a los goteros según se adapten al diseño lo cual se implementan según la necesidad.

### **Resultados y discusión:**

La implementación de un artefacto ya sea un molino artesanal u otro tipo elemento que sustituya la motobomba y/o electrobomba, beneficiaria a la población que lo implemente, ya que generaría ahorros económicos, por consiguiente, se recomendaría que los manuales o proyectos generados para este fin, sean muy sencillos para la implementación y ejecución de estos.

La información disponible para este caso en estudio fue muy limitada y los entes gubernamentales los cuales se solicitó información no respondieron (para este proyecto), y la información, como batimetría y topografía (la altimetría suministrada por el IGAC, en el punto de estudio no generaba suficiente información para este caso) fue suministrada por mediciones manuales y básicas.

Se pretendía crear un artefacto el cual se implementaría en el sitio de estudio ya que había patrocinio por un ente particular, pero no fue posible su efectucción ya que por la pandemia

generada por el Covid-19, no permitió el efectuar el viaje al lugar y por consiguiente los valores efectuados se realizaron con un molino a escala.

Con la información recopilada respecto a la implementación de sistemas de riego, se pudo llegar a inferir, que es deficiente la implementación de estos sistemas para la implementación del riego, a pesar de que la alcaldía pretende extender estos sistemas de riego según su POT, la no implementación de estos generaría tierras improductivas.

El sistema de riego por goteo es el sistema más eficiente en cuanto al aprovechamiento del recurso hídrico (siempre y cuando se implemente de la manera correcta), para cultivos los cuales soliciten un bajo caudal de demanda.

Para el cultivo de cacao las precipitaciones no son suficientes demostrado con la información del IDEAM, por lo cual la implementación de estos cultivos, por obligación habría que implementar cualquier sistema de riego que pueda suplir la necesidad de agua o sin esta implementación, el crecimiento óptimo de estas plantas se verá damnificado, hasta llegando a generar la muerte de estos individuos arbóreos.

Este proyecto busca ser adoptado y complementado en el campo de la investigación para la aplicación, con nuevos métodos y recomendaciones, para determinar mejores y nuevos artefactos en búsqueda de mejorar el sector agrícola y agronómico.

la velocidad tangencial requerida mínima para un diámetro de molino de 1.5m, para una tubería de 1in (pulgada) es de 2.00m/s, la cual generará una velocidad angular de 2.67m/s la cual cubriría 14.59 m<sup>3</sup> en las 12 horas en las que el molino estará en servicio.