

**OPTIMIZACIÓN DE LA CAPTACIÓN, DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y  
EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE TRES TIPOS DE RIEGO SOBRE LA  
PRODUCCIÓN DE CEBOLLA ROJA, EL AHORRO Y EL USO EFICIENTE DEL  
RECURSO HÍDRICO EN LA FINCA LAS MIRADAS DEL MUNICIPIO DE LA  
JAGUA DEL PILAR, LA GUAJIRA**

**Autores:**

**CAROLINA MARÍA RAMÍREZ RIVERA**

**WILMAN ANDRÉS CALDERÓN RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**VALLEDUPAR - CESAR**

**DICIEMBRE DE 2020**

**OPTIMIZACIÓN DE LA CAPTACIÓN, DISTRIBUCIÓN DEL AGUA Y  
EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE TRES TIPOS DE RIEGO SOBRE LA  
PRODUCCIÓN DE CEBOLLA ROJA, EL AHORRO Y EL USO EFICIENTE DEL  
RECURSO HÍDRICO EN LA FINCA LAS MIRADAS DEL MUNICIPIO DE LA  
JAGUA DEL PILAR, LA GUAJIRA**

**CAROLINA MARÍA RAMÍREZ RIVERA  
WILMAN ANDRÉS CALDERÓN RODRÍGUEZ**

**Tesis para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**Director**

**ING. JOSÉ MAURICIO PÉREZ ROYERO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR CESAR**

**2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Jefe de departamento**

---

**Evaluador 1**

---

**Evaluador 2**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, damos gracias a Dios por concedernos la sabiduría necesaria para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación, seguidamente a nuestros familiares, que estuvieron siempre a nuestro lado brindándonos su apoyo incondicional, especialmente al señor Sabas Ramírez, quien fue pieza fundamental en el apoyo al seguimiento y control del estudio realizado en la finca.

De igual manera agradecemos a nuestro director de proyecto, Ingeniero José Mauricio Pérez por sus consejos y contribuciones importantes en el desarrollo de cada una de las etapas y actividades llevadas a cabo para lograr los objetivos de esta investigación.

También es de nuestra gratitud las sugerencias y correcciones impuestas por parte de nuestros evaluadores, que, por medio de estas, se logró culminar en buenos términos el proyecto.

Por último, expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Popular del Cesar, por habernos permitido formarnos profesionalmente en ella; del mismo modo a los docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, quienes aportaron sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera.

## **TABLA DE CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. OBJETIVOS.....	14
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
5. MARCO REFERENCIAL.....	15
5.1 ANTECEDENTES.....	15
5.2 MARCO TEÓRICO .....	17
5.2.1 El agua .....	17
5.2.2 Clasificación del agua.....	18
5.2.3 Concepto de captación.....	20
5.2.4 Calidad del agua .....	20
5.2.5 Tipos de riegos.....	21
5.2.7 Concepto de manantial.....	26
5.2.8 Cultivo de cebolla .....	28
5.3 MARCO CONCEPTUAL.....	29
5.4 MARCO CONTEXTUAL .....	30
5.4.1 Aspectos climáticos .....	32
5.4.2 Aspectos económicos.....	32
5.5. MARCO LEGAL.....	32

6. MARCO METODOLÓGICO .....	38
6.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	38
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	38
6.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	39
6.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	39
6.5 MUESTRA POBLACIONAL .....	39
6.6 DESARROLLO METODOLÓGICO.....	39
6.6.1 Etapa 1: Identificación de los impactos al recurso hídrico de acuerdo al sistema actual de captación y distribución del agua en la finca. ....	40
6.6.2 Etapa 2: Optimización del sistema de captación y distribución de agua en la finca Las Miradas .....	41
6.6.3 Etapa 3: Planteamiento de un modelo de riego adecuado para el cultivo de cebolla roja que permita facilidad de implementación a un bajo costo .....	41
6.6.4 Etapa 4: Elección de la mejor alternativa de ahorro de agua mediante los sistemas de riegos empleados .....	42
6.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	45
7.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AL RECURSO HÍDRICO DE ACUERDO AL SISTEMA ACTUAL DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA FINCA. ....	45
7.1.1 Diagnóstico ambiental .....	45
7.1.2 Diagnóstico técnico .....	47
7.1.3 Medición de caudal.....	49
7.1.4 Análisis hidrológico de la cuenca y de las precipitaciones de la zona ....	52

7.2 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LA FINCA LAS MIRADAS .....	59
7.2.1 Optimización del sistema de captación .....	59
7.2.2 Diseño de la distribución del agua para los riegos .....	63
7.3 PLANTEAMIENTO DE UN MODELO DE RIEGO ADECUADO PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA ROJA QUE PERMITA FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN A UN BAJO COSTO .....	68
7.3.1 Parámetros de diseño de riego por surcos .....	69
7.3.2 Parametros de diseño de riego por aspersion .....	75
7.3.3 Parámetros para diseño de riego por goteo .....	76
7.3.4 Implementación piloto de los tres modelos de riego .....	77
7.4 ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE AHORRO DE AGUA MEDIANTE LOS SISTEMAS DE RIEGOS EMPLEADOS .....	89
7.4.1 Análisis y evaluación de alternativas .....	89
7.4.2 Elección de la mejor alternativa .....	92
8. CONCLUSIONES .....	94
9. RECOMENDACIONES .....	96
10. BIBLIOGRAFÍA .....	97
11. WEBGRAFÍA .....	98

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad y Alcances.....	32
Tabla 2. Técnicas, instrumentos y fuentes.....	40
Tabla 3. Tabla de tiempo promedio de caudal de captación 1.....	50
Tabla 4. Tabla de tiempo promedio de caudal de captación 2.....	50
Tabla 5. Tabla de tiempo promedio de caudal de llegada a la finca. ....	52
Tabla 6. Cálculo del balance hídrico del año 2015. ....	54
Tabla 7. Cálculo del balance hídrico del año 2016. ....	55
Tabla 8. Cálculo del balance hídrico del año 2017. ....	56
Tabla 9. Cálculo del balance hídrico del año 2018 ....	57
Tabla 10. Cálculo del balance hídrico del año 2019. ....	58
Tabla 11. Tabla de tiempo promedio de caudal de captación optimizado. ....	62
Tabla 12. Tabla de tiempo promedio de caudal de llegada a la finca optimizado. .	62
Tabla 13. Materiales para montaje del tanque de almacenamiento.....	64
Tabla 14. valores promedios de las propiedades físicas del suelo según la estructura.....	72
Tabla 15. Fracción de agotamiento del agua.....	73
Tabla 16. Eficiencias de aplicación de agua para diferentes sistemas de riego. ...	74
Tabla 17. Cantidad de agua aplicada a cada parcela.....	89

## **1. INTRODUCCIÓN**

La humanidad enfrenta de forma alarmante una carencia de agua, provocada por una variedad de causas. Por un lado, el manejo inadecuado que le brinda la población en la mayoría de sus usos, siendo este el mayor problema que existe en la actualidad; y, por otro lado, la modificación de los patrones de lluvias a causa del cambio climático, afectando de manera directa a los afluentes donde comúnmente se abastecen la mayoría de las poblaciones.

En muchas zonas urbanas y rurales, la calidad de vida se ve afectada por la ausencia del agua, perturbando de manera directa las actividades domésticas y agrícolas; por lo anterior, nace la necesidad de corregir las acciones realizadas por parte del ser humano, efectuando de esta manera, un uso racional que garantice la sostenibilidad del recurso hídrico para las generaciones futuras.

Frente a las problemáticas anteriormente mencionadas, como futuros Ingenieros Ambientales y Sanitarios, en el presente proyecto se pretende optimizar el sistema de captación y distribución del recurso hídrico, evaluando diferentes modelos de riego para el cultivo de cebolla, buscando el ahorro y un uso eficiente del agua en la finca las Miradas del municipio de la Jagua del Pilar, la Guajira.

Con esta iniciativa se contribuye al desarrollo y sostenibilidad de la finca, empleando buenas prácticas agrícolas y por consiguiente obteniendo una mejor producción en los cultivos empleados.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La finca las Miradas se encuentra ubicada en la vereda de Sierra Montaña del municipio de la Jagua del Pilar, del departamento de la Guajira. En esta se realizan actividades agrícolas, donde actualmente hay sembrado café, cacao, aguacate, guineo, cebolla, repollo y frutos como naranjas, limones, zapote, piña, entre otros.

Partiendo del concepto del desarrollo sostenible como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (CMMAD, 1987) se hace necesario que se haga un buen uso del recurso hídrico en las actividades agrícolas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el agua es un recurso muy importante para el desarrollo y producción de los diferentes cultivos. La finca las Miradas cuenta con este recurso todos los días, donde el agua es proveniente de un manantial ubicado aproximadamente a 425 metros de distancia, llegando por acción de la gravedad al lugar y es distribuida mediante tuberías de diferentes diámetros.

A la hora de captar el agua, se evidencia la ausencia de un sistema de captación óptimo, debido a la falta de los accesorios necesarios para la misma; asimismo, en épocas de invierno se presentan taponamientos en esta zona debido al material arrastrado por acción de las lluvias. También se encontró que, al momento de realizar los riegos para las siembras, principalmente en el cultivo de cebolla, se efectúa mediante una manguera en donde no se tiene en cuenta la cantidad de agua requerida para el cultivo en específico, por lo tanto, no se hace un uso eficiente del recurso hídrico. Además, se descubrió que no existe un diseño de distribución óptimo, donde se hallaron tuberías rotas, ocasionando pérdidas de presión e intermitencia del líquido que llega a la finca.

En base a lo anterior se ve la necesidad de implementar un proyecto que corrija las problemáticas anteriormente mencionadas, debido a que si persisten no habrá un buen rendimiento de la producción y el recurso hídrico no es aprovechado de manera eficiente, ocasionando pérdida desmedida del líquido.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál sería la mejor alternativa de riego en la producción de cebolla roja para el uso eficiente del agua en la finca las Miradas del municipio de La Jagua del Pilar, La Guajira?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), la agricultura es considerada como una de las actividades económicas, sociales y ambientales más esenciales para el ser humano. Se sabe que de la agricultura provienen todos los alimentos que llegan a nuestro hogar y que muchas veces no sabemos el proceso empleado, sea natural o artificialmente para su obtención. Igualmente, las actividades agrícolas aportan algunas ventajas medioambientales como lo es la conservación del suelo, preservando la biodiversidad y procurando una gestión sostenible de los recursos naturales. Asimismo promueve el desarrollo económico y sostenible de las zonas rurales a nivel mundial.<sup>1</sup>

De igual manera la agricultura emplea prácticas que deben ser realizadas de manera correcta, de lo contrario puede llevar consigo problemas ambientales, como la pérdida del recurso hídrico, si no se lleva a cabo sistemas de riego adecuados que mejoren la producción. Con base a lo anterior, es importante hacer un uso eficiente del agua, debido a que, sin este recurso, las actividades agropecuarias no se podrán ejecutar, por eso nuestra investigación se fundamenta bajo diferentes criterios, en los cuales se destaca:

Justificación teórica, esta, según Méndez (2012) se realiza “cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados o hacer epistemología del conocimiento existente”. En el caso de la finca las Miradas se quiere hacer una optimización del sistema de captación y distribución para luego evaluar la incidencia de tres tipos de riego en el ahorro y uso eficiente del agua, lo cual mejorará el desarrollo de las

---

<sup>1</sup> Importancia del agua (s/f.). Autor: Importancia. (2017). Tomado de <https://www.importancia.org/agua.php>.

actividades domésticas y agropecuarias contribuyendo con la conservación del preciado líquido.

Justificación metodológica, en esta tendremos en cuenta cada uno de los métodos para la recolección y análisis de los datos, como la entrevista, la observación, los cuestionarios, etc. También se tendrán en cuenta diferentes etapas, que llevan consigo actividades los cuales servirán de herramientas para la realización de la optimización de la captación y distribución para posteriormente evaluar los riegos empleados en la finca.

Y por último la Justificación práctica, en donde se hará uso de las buenas prácticas agrícolas para que esta finca se vuelva sostenible en comparación con las demás de este sector, dentro de esas buenas prácticas agrícolas se comparará cuál de los tipos de riego es el más eficiente para hacer un buen uso y aprovechamiento del recurso hídrico.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Optimizar la captación y distribución del agua y evaluar la incidencia de tres tipos de riego sobre la producción de cebolla roja, el ahorro y el uso eficiente del recurso hídrico en la finca las Miradas del municipio de la Jagua del Pilar, La Guajira.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los impactos al recurso hídrico de acuerdo al sistema actual de captación y distribución del agua en la finca.
- Optimizar el sistema de captación y distribución de agua en la finca Las Miradas.
- Establecer un modelo de riego adecuado para el cultivo de cebolla roja que permita facilidad de implementación a un bajo costo.
- Elegir la mejor alternativa de ahorro de agua mediante los sistemas de riegos empleados.

## **5. MARCO REFERENCIAL**

### **5.1 ANTECEDENTES**

Daniela Alejandra Romero Rubiano (2017), desarrolló la investigación titulada Aprovechamiento De Aguas Superficiales Para Mini-Distrito De Riego En La Vereda “Labrancitas”, En Paz De Ariporo, Casanare; para optar el título de Ingeniera Civil, en la Universidad Santo Tomas, en donde su objetivo general fue plantear un distrito de riego para Paz de Ariporo Casanare, el cual permite satisfacer las necesidades de la comunidad para el desarrollo de sus actividades agrícolas. En este proceso de análisis tuvieron en cuenta aspectos naturales, hídricos y teóricos para así desarrollar una estructura que cumpliera con las necesidades adecuadas. Este proyecto nos guiará para el desarrollo metodológico de nuestro proyecto, teniendo en cuenta unos de los métodos utilizados para realizar el diseño de captación.

Camila Andrea Pulido González (2017), implementó la investigación que tiene como título Diseño del Programa de Uso Eficiente y Ahorro Del Agua en La Finca Jardines De Colombia De La Empresa The Elite Flower; para obtener el título de Ingeniera Ambiental, en la universidad Santo Tomas, donde su objetivo general constó en realizar el diseño del programa de uso eficiente y ahorro del agua en la Finca Jardines de Colombia de la Empresa The Elite Flower. Para el diseño de este programa tomó como base la guía de planeación del PUEAA para el sector productivo de la CAR, del cual se tomaron dos etapas, en la primera se desarrolló la preparación o aprestamiento en la que se recolecto la información general de la finca, y la segunda etapa que es la planeación por proyectos se dividió en dos fases, la primera constó del diagnóstico y la prospectiva en la que se realizó una línea base para cada proyecto aplicable a la finca y se determinó el estado actual, y en la segunda fase se determinaron los planes de acción con su respectivo presupuesto para cada proyecto. Este proyecto nos ayudará para la realización del diagnóstico de la finca, en donde se evidenciará como encontramos el lugar actualmente.

Manuel Eduardo Cardozo Pérez y Mario Julián Díaz Martínez (2014), implementaron la tesis llamada Diseño de un Sistema de Riego por Aspersión de La Finca El Cedro Ubicada En El Municipio De Aquitania. Cardozo; para obtener el título de Ingeniero Civil, en la universidad Militar Nueva Granada. Su objetivo principal fue realizar el diseño de un sistema de riego por aspersión en la finca El Cedro para mejorar la productividad del cultivo de cebolla larga, minimizando los costos y aumentando rendimientos agrícolas en época de verano. El diseño del sistema de riego por aspersión que fue implementado en la finca, dependió de una serie de factores que fueron de gran importancia, como el lugar, el suelo, el clima, etc. Actualmente se está implementado en la Finca el Cedro un diseño de un sistema de riego por aspersión “fijo” que se va a emplear para el riego de Cebolla Larga. Este proyecto contribuirá a la realización del tercer objetivo de nuestra investigación en cuanto a la implementación del riego por aspersión, el cual evaluaremos y compararemos el rendimiento con el de goteo y surcos.

Juan Pablo Saud Toledo (2012), ejecutó la tesis de grado titulada Diseño de un Sistema de Riego por Goteo para Cultivos en zonas con escasas de agua; presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero Civil. Este proyecto consistió en el estudio y diseño de un sistema de riego por goteo, el cual sirve para productos de cultivo delicado, como el cultivo del tomate, que se necesita un sistema de riego controlado, además de una forma de obtener fuentes de agua alternativo como lo es la captación de agua lluvia para el riego en zonas de baja dotación de agua. Este proyecto contribuirá a nuestra investigación en cuanto a la implementación del riego por goteo, el cual evaluaremos y compararemos el rendimiento con el de aspersión y surcos.

## 5.2 MARCO TEÓRICO

### 5.2.1 El agua

El agua es un compuesto que se forma a partir de la unión, mediante enlaces covalentes, de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; su fórmula molecular es  $H_2O$  y se trata de una molécula muy estable.

En la estructura de la molécula los dos átomos de hidrógeno y el de oxígeno están dispuestos en un ángulo de  $105^\circ$ , lo cual le confiere características relevantes.

Es una molécula dipolar, en la que el átomo de oxígeno central comparte un par de electrones con cada uno de los dos átomos de hidrógeno con un exceso de carga negativa junto al oxígeno, compensada por otra positiva repartida entre los dos átomos de hidrógeno<sup>2</sup>.

En la figura 1 se muestra los enlaces de los átomos que conforman la estructura molecular del agua.

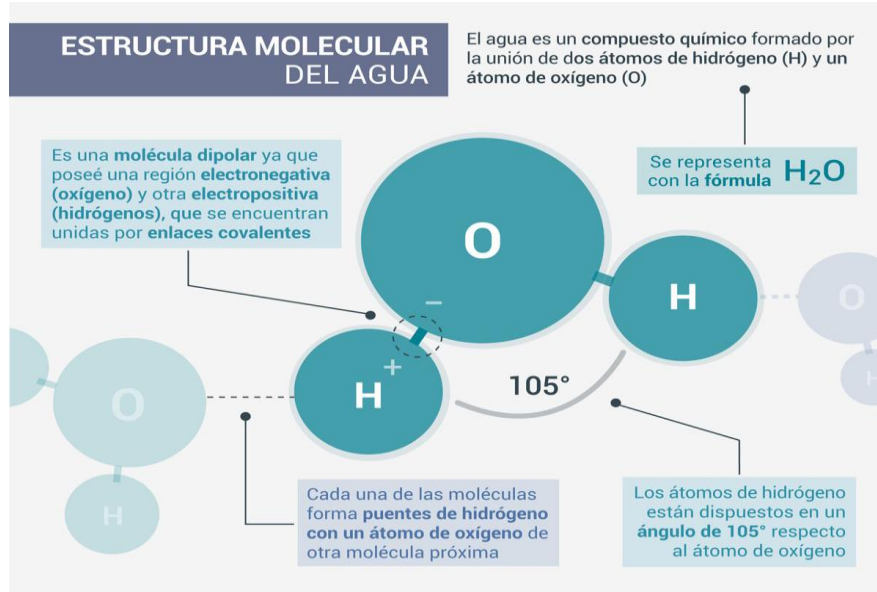


Figura 1: Estructura Molecular del agua.

Fuente: Centro Virtual de información del agua, 2017.

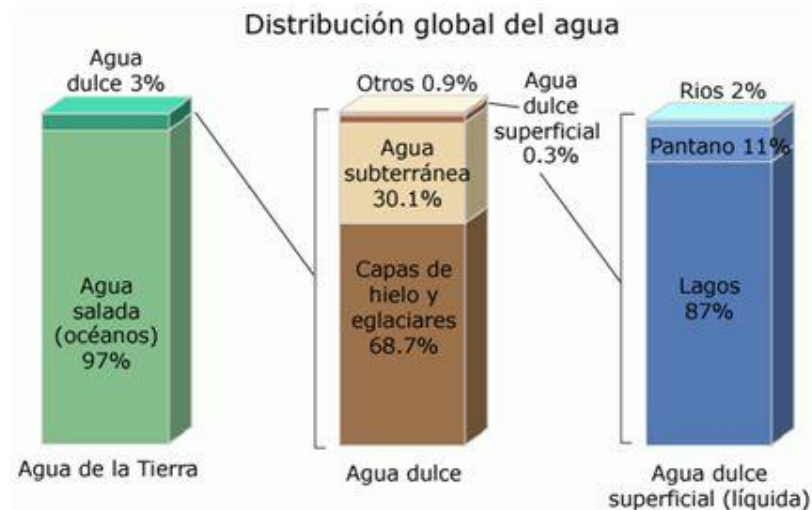
<sup>2</sup> Centro virtual de información del agua, 2017, Tomado de <https://agua.org.mx/que-es/>

## 5.2.2 Clasificación del agua

### 5.2.2.1 Según su distribución

El 70 % de nuestro Planeta está cubierto por agua. Del total de agua, 1.386 millones de kilómetros cúbicos, aproximadamente el 97.5% es agua salada y sólo el 2.5% es agua dulce. Del agua dulce total un 68.7% está en los glaciares y la nieve. Un 30 % del agua dulce está en el suelo. Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, solamente corresponden a unos 93.100 kilómetros cúbicos lo que representa un 1/150 del uno por ciento del total del agua y son la principal fuente de agua que nos abastece diariamente. <sup>3</sup>

En la figura 2 se evidencia como está distribuida el agua a nivel mundial mostrando sus respectivos porcentajes.



*Figura 2. Distribución global del agua.*

*Fuente: Planeta azul. 2015.*

<sup>3</sup> Planeta Azul. Distribución del agua en nuestro Planeta Azul. (2016) Tomado de <http://comunidadplanetaazul.com/agua/aprende-mas-acerca-del-agua/distribucion-del-agua-en-nuestro-planeta-azul/>

### **5.2.2.2 Según su uso.**

Las disposiciones para el Uso y Aprovechamiento del Agua están establecidas en el Decreto 1076 de 2015 en donde dice que las aguas se clasifican en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado.

Las aguas de dominio público comprenden los ríos y todas las aguas que corran por cauces naturales de modo permanente o no; las aguas que corran por cauces artificiales que hayan sido derivadas de un cauce natural; los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos; las aguas que estén en la atmósfera; las corrientes y depósitos de aguas subterráneas; las aguas lluvias; las aguas privadas, que no sean usadas por tres años consecutivos.

Las aguas son de dominio privado, siempre que no se dejen de usar por el dueño de la heredad por tres años continuos y que brotan naturalmente y desaparecen por infiltración o evaporación dentro de una misma heredad.

Sobre los usos de las aguas se dice que todos los habitantes pueden utilizar las aguas de uso público mientras discurren por cauces naturales, para beber, bañarse, abreviar animales, lavar ropa y otros usos similares. Asimismo, cuando se trate de aguas que discurren por un cauce artificial, también es permitido el uso por todos los habitantes para usos domésticos, y siempre que el uso a que se destinen las aguas no exija que se conserven en estado de pureza, ni se ocasionen daños al canal o se imposibilite o estorbe el aprovechamiento del concesionario de aguas.

Por el contrario, para usar las aguas de dominio privado con fines domésticos se requiere que con la utilización de las aguas no se cause perjuicio al fundo donde se encuentran; que el uso doméstico se haga sin establecer derivaciones, ni emplear máquinas, ni aparatos, ni alterar o contaminar el agua en forma que se imposibilite

su aprovechamiento por el dueño del predio; y que previamente se haya acordado con el dueño del fundo, el camino y las horas para hacer efectivo ese derecho.

### **5.2.3 Concepto de captación**

A la recolección de agua se la conoce como captación. Existen varios sistemas de captación del agua, que apuntan a recolectar y almacenar dicha agua para luego darle un uso.

A la estructura construida con la finalidad de derivar un curso de agua y aprovechar su caudal se la llama captación o bocatoma. Con estas estructuras se puede generar energía eléctrica u obtener agua potable, por citar dos posibilidades.

A veces, la captación se usa en ríos de grandes dimensiones, aunque esto acarrea costes muy elevados. Una vez que se desvía el agua, se lleva a puntos específicos donde será usada para abastecer sistemas de potabilización, acuicultura, producción de energía eléctrica, riego o enfriamiento de instalaciones industriales, entre otras diversas aplicaciones. Pérez y Gardey (2016)

### **5.2.4 Calidad del agua**

La vigilancia de la calidad del agua para el abastecimiento a la población, comienza en el origen de la misma, es decir, en embalses, ríos y pozos, continúa durante su tratamiento en las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) y a través de su paso por la red de distribución hasta que llega al consumidor.

En todos estos puntos se recoge muestras de agua que, posteriormente, se analizarán en laboratorio. Con las técnicas adecuadas, los técnicos analizarán aquellos parámetros necesarios para conocer si el agua es apta para consumo humano. Por ejemplo, los parámetros a controlar para el grifo del consumidor son, al menos: olor, sabor, color, turbidez, dureza, sodio, conductividad, pH, E Coli, cloro libre residual y cloro combinado residual.

Las frecuencias de muestreo del agua están establecidas por real decreto, aunque normalmente se superan con creces el número establecido por la ley. Todos esos

datos obtenidos de los análisis son recogidos, almacenados e interpretados. Cualquier incumplimiento de cualquiera de los parámetros analizados, es decir, su concentración es mayor que la establecida, debe ser confirmado, por lo que se volverá a tomar una muestra de agua antes de las 24 horas de haberse detectado y se notificará a la autoridad sanitaria. Un incumplimiento obliga a una investigación de la causa que lo originó, y la garantía que se aplique lo antes posible las medidas correctoras y preventivas para la protección de la salud de la población abastecida. La calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan en unos niveles de toxicidad aceptables tanto para las personas como para los organismos acuáticos.<sup>4</sup>

### **5.2.5 Tipos de riegos**

El riego es fundamental si estamos pensando en cultivar cualquier producto agrícola o planta. Mediante el riego damos agua al suelo para que las plantas puedan crecer. Existen diferentes tipos de riegos.

#### ***5.2.5.1 Riego por surcos***

Es un tipo de riego en el que el agua circula por canales y estructuras previamente diseñadas para efectuar el riego de determinadas zonas. En este tipo de riego, las hojas de las plantas o vegetales no entran en contacto directo con el agua.

##### **5.2.5.1.1 Ventajas del riego por surcos**

Es un sistema bastante sencillo que no necesita de instalaciones y que evita enfermedades de las plantas al no entrar estas en contacto directo con el agua.

---

<sup>4</sup> Pradillo, B. (2016). El agua. Tomado de <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>.

Por otro lado, este sistema tiene un costo de instalación menor que otros tipos de riego, ya que no se necesitan tantos componentes de precio elevado como otros sistemas de riego por aspersión, por ejemplo, tuberías o aspersores.

También cabe destacar que es un tipo de riego que solo actúa sobre las raíces de las plantas, sin mojar el resto de sus partes. Es un sistema ideal para huertos pequeños y terrenos uniformes como lo demuestra la figura número 3.<sup>5</sup>

#### **5.2.5.1.2 Desventajas del riego por surcos**

- ♣ Se produce un menor aprovechamiento del agua debido a que ésta se infiltra y escurre en grandes cantidades con menores posibilidades de regulación del caudal estrictamente necesario.
- ♣ Se produce erosión del terreno por arrastre. Además, generalmente produce un sobrehumedecimiento del suelo. Como el agua se distribuye por gravedad, debe existir una pequeña pendiente en el terreno.
- ♣ El consumo de fuerza de trabajo es mayor, y las condiciones de trabajo son más rigurosas, pues el obrero de riego (anegador) trabaja por lo regular dentro del fango que se produce al anegar.

---

<sup>5</sup> Tipos de riegos. (2016). Blog Verde. Recuperado de <https://elblogverde.com/tipos-riego/>



*Figura 3. Riego por surcos.*

*Fuente: El Blog verde. 2016.*

#### **5.2.6.2 Riego por goteo**

Este tipo de riego arroja el agua con muy baja presión hasta las raíces y hasta distribuir el goteo. Se hace con ayuda de tubos pequeños, dispuestos en el suelo o enterrados. Se riega con mucha precisión, pero, fundamentalmente, se hace porque este tipo de riego ayuda a ahorrar mucha cantidad de agua. Además, se limitan las pérdidas por evaporación, dispersión o infiltración. En la actualidad, el riego gota a gota se utiliza mucho para regar frutas, verduras, cereales, flores o viveros pequeños. Por supuesto, podríamos utilizarlo en nuestros invernaderos pequeños o también en invernaderos caseros.

##### **5.2.6.2.1 Ventajas del riego por goteo**

Permite automatizar las instalaciones y puede ser implantado en cualquier tipo de terrenos, incluso en terrenos más rocosos.

Necesita una menor cantidad de agua que el resto de tipos de riego, gracias a las salidas de agua bien estudiadas, según las necesidades del cultivo.

Es un tipo de riego mucho más indicado para zonas arenosas o con pendientes.

Al regar solo en las zonas donde realmente se necesita, combate a proliferación de malas hierbas.<sup>6</sup>

La figura 4 muestra las diferentes características de un sistema de riego por goteo, señalando los accesorios necesarios que son de suma importancia para llevar a cabo esta técnica.



*Figura 4. Riego por goteo.*

*Fuente: La República, 2013*

#### **5.2.6.2.1 Desventajas del riego por goteo**

A pesar de las ventajas del riego por goteo presenta también algunos inconvenientes:

- ♣ El riego por goteo es más caro en la instalación que otros sistemas de riego.
- ♣ Posible taponamiento de los goteros debido a las sales que pueda contener el agua o por la mala calidad del gotero.
- ♣ No se puede labrar el suelo una vez está instalado el sistema.

<sup>6</sup> Tipos de riegos. (2016). Blog Verde. Recuperado de <https://elblogverde.com/tipos-riego/>

- ♣ Alto costo de mantenimiento.
- ♣ Requiere de mayor preparación técnica por parte del agricultor.

### ***5.2.6.3 Riego por aspersión***

Consiste en aplicar el agua imitando la lluvia, es decir, mediante un chorro de agua pulverizada en gotas. El mecanismo funciona a través de una red de tuberías que transporta el agua hasta los aspersores, los cuales utilizan presión para dispararla.

#### **5.2.6.3.1 Ventajas del riego por aspersión**

Permite ajustar la potencia y la orientación del riego, asegurando que llega por igual a todo el terreno. Es susceptible de ser usado tanto en terrenos llanos como en zonas con elevaciones o depresiones del terreno.

Por otro lado, el consumo de agua necesario es menor que en otros tipos de riego, por ejemplo, en el caso del riego por surcos. La potencia de las mangueras de aspersión permite que el agua llegue a más distancia y que sean necesarias menos salidas de riego para llegar a todo el terreno.

Por último, la presión del agua no es grande, por lo que, a pesar de entrar en contacto directo con plantas o vegetales, no causa ningún tipo de daño en ellas. Además, la cantidad de agua y las presiones del agua de las mangueras se pueden ajustar fácilmente según las necesidades del terreno.

A pesar de que el agua sale con más presión, esta se deposita suave y uniformemente sobre el terreno, tal cual como se evidencia en la figura 5, es decir, no llega a las plantas con presión suficiente como para causar daños en ellas.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Tipos de riegos. 2016. Blog Verde. Recuperado de <https://elblogverde.com/tipos-riego/>



*Figura 5. Riego por aspersión.*

*Fuente: Blog Construarte, 2017.*

#### **5.2.6.3.1 Desventajas del riesgo por aspersión**

- ♣ Se necesita estudiar bien la colocación de los aspersores, ya que una mala situación puede provocar gasto excesivo de agua, y un exceso o defecto de riego en determinadas zonas.
- ♣ Por otro lado, necesita menos agua que el riego por surcos, pero más que para el riego por goteo.
- ♣ No riega únicamente las raíces, sino que moja por completo el resto de la planta, hecho que puede provocar enfermedades en la planta.

#### **5.2.7 Concepto de manantial**

Un manantial es una fuente natural de agua que fluye a partir de aguas subterráneas, atraviesa la roca, sedimento o suelo y luego fluye sobre la superficie de la tierra. El agua puede fluir con fuerza, o bien, brotar con lentitud. Sus características dependen de la topografía del terreno, la posición de la capa freática y de las unidades permeables e impermeables del suelo, la roca o el sedimento.



*Figura 6. Manantial.*

*Fuente: Proyecto Biosfera, 2006.*

A lo largo del mundo existe una cantidad elevada de manantiales, cada uno con propiedades particulares. Algunos fueron considerados lugares sagrados en ciertas culturas antiguas.

Se pueden identificar dos tipos de manantiales: los perennes y los intermitentes. Los perennes se producen cuando el agua del manantial viene de una profundidad por debajo del nivel freático, es decir, de la zona saturada; el flujo de agua se produce de manera continua.

Los manantiales de tipo intermitente se producen cuando el agua proviene de un nivel cercano al freático, por lo que emanará durante la estación de lluvia, cuando la capa freática esté en su nivel más alto, por lo tanto, la existencia de manantiales y su caudal, dependerán de la geología del terreno, de la estacionalidad, volumen de las precipitaciones y de la frecuencia de la infiltración (recarga del acuífero) de las lluvias y de las aguas superficiales en la corteza terrestre (FUNDACIÓN AQUAE s.f.; GEOENCICLOPEDIA s.f.)

### **5.2.8 Cultivo de cebolla**

La cebolla es una liliácea (*Liliaceae*), como el puerro, el ajo, cebolleta, etc.). Tienen la particularidad de que se puede cultivar en varias etapas a lo largo del año, y se pueden almacenar durante largo tiempo, por lo que se puede disponer de ellas durante los 365 días del año.

#### **5.2.8.1 La relación entre el clima y el cultivo de cebolla**

Las mejores condiciones para el desarrollo de la cebolla son de pleno sol. En sus inicios de desarrollo, tolera condiciones bajas de temperatura, pero una vez se va desarrollando el bulbo y adquiere tamaño, las temperaturas tiene que subir, conforme a la llegada de la primavera (variedades tempranas) u otoño y salida de verano (variedades tardías).

El rango óptimo de temperatura para el cultivo de cebolla es a partir de 15°C. Eso sí, también depende de la variedad. Lo más importante es que la mayoría de variedades requieren que las temperaturas sean superiores a 15°C en todas las fases del cultivo, pero hay otras variedades que requieren periodos fríos al inicio. Sin embargo, no es lo normal.

#### **5.2.8.2 El suelo**

Para conseguir el desarrollo óptimo en el cultivo de la cebolla se requieren suelos ligeros, permeables, esponjosos, y profundos, ya que es un bulbo.

#### **5.2.8.3 Riego**

El riego ha de ser constante, pero no necesita mucha agua. Parece que últimamente solemos decir mucho lo de riego constante, pero en este caso, en el cultivo de la cebolla lo requerimos más que nunca. De hecho, lo ponemos de otro color, la cebolla no tolera exceso de humedad, por lo tanto, lo que se debe hacer es menor volumen de riego, pero con mayor frecuencia. No dejar que se seque la tierra y

cuando nos demos cuenta añadir un riego muy abundante. Así se produce agrietamiento y pudrición.<sup>8</sup>

### 5.3 MARCO CONCEPTUAL

**ALMACENAMIENTO:** se hace necesario el almacenamiento de agua cruda cuando el caudal seguro y disponible de la fuente de abastecimiento no surte permanentemente la demanda del sistema. El volumen útil almacenado debe ser suficiente para suministrar agua sin racionamiento.

El almacenamiento de agua tratada es un imperativo para poder atender, la demanda máxima horaria de la red de distribución de agua potable o la necesidad de garantizar y/o compensar las presiones en la red de distribución.

**CAPTACIÓN:** extraer y/o recoger el agua de la naturaleza para su utilización. Aquí, se incluyen los servicios de embalse y la conducción por arterias y conducciones primarias.

**CULTIVOS DE HORTALIZAS:** las hortalizas son un conjunto de plantas cultivadas generalmente en huertas o regadíos, que se consumen como alimento, ya sea de forma cruda o preparadas culinariamente, y que incluye las verduras y las legumbres verdes (las habas y los guisantes). Las hortalizas no incluyen las frutas ni los cereales.

**DISTRIBUCIÓN:** una red de distribución de agua potable es el conjunto de instalaciones que la empresa de abastecimiento tiene para transportar desde el punto o puntos de captación y tratamiento hasta hacer llegar el suministro al cliente en unas condiciones que satisfagan sus necesidades.

---

<sup>8</sup> Cultivo de cebolla. Agromática. (2010) Recuperado de <https://www.agromatica.es/cultivo-de-la-cebolla/>

**SISTEMAS DE RIEGOS:** un sistema de riego es un mecanismo con el que un agricultor puede esparcir agua por un campo de cultivos de una manera uniforme. Son tuberías dispuestas.

**TANQUES ELEVADOS:** los tanques de agua son un elemento fundamental en una red de abastecimiento de agua potable, para compensar las variaciones horarias de la demanda de agua potable.

#### 5.4 MARCO CONTEXTUAL

La Jagua del Pilar es un municipio de Colombia, en el departamento de La Guajira. Limita al norte con el municipio de Urumita, al este con Venezuela y al sur con el departamento de Cesar. Se convirtió en municipio en 1998. La extensión territorial total del municipio de La Jagua del Pilar es de 152 km<sup>2</sup>, de los cuales 5 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana, y 147 km<sup>2</sup> al área rural.

Este municipio esta comunicado con el casco urbano de Riohacha, La Guajira y Valledupar, Cesar, por una carretera asfaltada de 176 Km y 40 Km de longitud, respectivamente. La figura número 7 nos indica la posición del municipio al sur del departamento de La Guajira.



*Figura 7. Ubicación geográfica del municipio de la Jagua del Pilar.*

*Fuente: Google Maps, 2018.*

La parte rural está compuesta por el corregimiento del Plan y las veredas Sierra Montaña, Berlín y el Piñal.

La finca las Miradas, perteneciente a la vereda Sierra Montaña, limita al norte con la finca las Dalias, al este con la finca El Nopal y al sur con la finca el Diluvio. Para llegar a este lugar se puede acceder por el sur del municipio de La Jagua del Pilar y por el municipio de Manaure Cesar, siendo el segundo, el regularmente utilizado (ver figura 8). Esta finca cuenta con alrededor de 10 hectáreas, las cuales están distribuidas en cultivos de café, cacao, guineo, aguacates y cultivos de hortalizas, entre estos últimos se encuentra el de cebolla, el cual es el mayormente sembrado por el agricultor.



*Figura 8. Vía de Acceso a la finca Las Miradas.*

*Fuente: Google Earth, 2020.*

#### **5.4.1 Aspectos climáticos**

La Jagua del Pilar cuenta con cuatro pisos térmicos. Pero la vereda Sierra Montaña corresponde al piso térmico templado con temperaturas medias anuales de 18 a 28°C. También se ubican los alrededores inmediatos de los caseríos de Las Nubes, La Estrella, La Asamblea y El Cielo. Este piso térmico se presenta en un área de 803,54 hectáreas.

#### **5.4.2 Aspectos económicos**

La Jagua del Pilar se ha caracterizado por el desarrollo de la actividad agropecuaria, en principio desarrollada por los primeros pobladores indígenas de la tribu Itoto, de quienes se relata que su economía giraba alrededor de la agricultura bien desarrollada, luego vinieron los ganaderos, provenientes del Departamento del Cesar, que se asentaron en sus tierras, estableciendo hatos ganaderos, siendo también indicador de la vocación agropecuaria existente en el municipio. Lo anterior muestra de la utilización del suelo en actividades agropecuarias ha sido una tradición, y en este sentido, el desarrollo territorial del Municipio deberá centrarse en fortalecer el sector agropecuario.

### **5.5. MARCO LEGAL**

*Tabla 1. Normatividad y Alcances*

<b>NORMA</b>	<b>ALCANCE</b>
<b>Constitución Política de Colombia</b>	Consagra derechos y obligaciones para proteger los recursos y garantizar un medio ambiente sano. Asigna competencias a diferentes entes estatales para adelantar las tareas de administración, planeación, prevención y defensa del medio ambiente.

<p><b>Ley 09 de 1979</b></p>	<p>Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.</p>
<p><b>Ley 99 de 1993</b></p>	<p>Sistema Nacional Ambiental SINA: Crea el Ministerio del Medio Ambiente, reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. Define el marco legal y asigna funciones en relación con la formulación de la Política Nacional Ambiental, ordenamiento territorial y manejo de cuencas, obras de infraestructura, control de contaminación, definición y aplicación de tasas de uso del agua y retributivas, licencias ambientales, concesiones de agua y permisos de vertimiento, control, seguimiento y sanciones, manejo de conflictos de competencias, cuantificación del recurso hídrico, seguimiento de la calidad del recurso hídrico, conservación de cuencas, instrumentos económicos y de financiación.</p>

<p><b>Ley 388 de 1997</b></p>	<p>Define, entre otros, competencias en el manejo de las cuencas hidrográficas para elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial en los municipios y distritos.</p>
<p><b>Ley 373 de 1997</b></p>	<p>Obliga a incorporar el programa de uso eficiente del agua a nivel regional y municipal, y a utilizar métodos eficientes en el uso del recurso hídrico. También obliga a definir una estructura tarifaria que incentive el uso eficiente y ahorro del agua.</p>
<p><b>Decreto 2811 de 1974</b></p>	<p>Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental. Entre otras competencias, asigna responsabilidades para ejecución de obras de infraestructura y desarrollo, conservación y ordenamiento de cuencas, control y sanciones, concesiones y uso del agua, tasas, incentivos y pagos, medición de usos, uso eficiente del agua y demás herramientas para la administración, protección, conservación y uso sostenible de los recursos naturales renovables.</p>

<p><b>Decreto 1449 de 1977</b></p>	<p>Establece obligaciones a los propietarios de predios para la conservación, protección, y aprovechamiento de las aguas, bosques, fauna terrestre, acuática, y suelos.</p> <p>Establece como área protectora forestal y que se debe mantener con cobertura boscosa una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanente o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua.</p>
<p><b>Decreto 1541 de 1978</b></p>	<p>Reglamenta las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados: reglamenta el dominio y usos de las aguas con fines de desarrollo humano, económico y social, restringe y limita el dominio de las aguas para asegurar su aprovechamiento sostenible y expone las sanciones por el incumplimiento de la norma, entre otros aspectos.</p>
<p><b>Decreto 1594 de 1984</b></p>	<p>Aunque el Decreto en la actualidad es reemplazado en su mayor parte por el Decreto 3930 de 2010, aún están vigentes los artículos relacionados con los Usos y Criterios de Calidad del agua, así como las Normas de Vertimientos para usuarios que viertan al suelo o a un cuerpo hídrico.</p>

<p><b>Decreto 1729 de 2002</b></p>	<p>Establece las finalidades, principios y directrices para la ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas-POMCA, la competencia para su declaración, procedimiento, acciones y plazos para su cumplimiento. Se define como norma de superior jerarquía sobre cualquier otro ordenamiento administrativo y determinante de los Planes de Ordenamiento Territorial POT.</p>
<p><b>Decreto 3100 de 2003 y Decreto 3440 de 2004</b></p>	<p>Modifican el instrumento económico de tasas retributivas por vertimientos puntuales. Crea los PSMV (hacen las veces de planes de cumplimiento) y Reactiva los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH del 1594/84, exigiendo establecer Objetivos de Calidad en un Horizonte de tiempo.</p>
<p><b>Decreto 1575 de 2007</b></p>	<p>Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano</p>
<p><b>Decreto 3930 de 2010</b></p>	<p>Define los Usos del Agua y establece que las Autoridades Ambientales Competentes deberán elaborar los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH para las aguas superficiales, marítimas y subterráneas.</p>

<p><b>Decreto 2820 de 2010</b></p>	<p>Establece todo lo relacionado con la autorización de Licencias Ambientales, las cuales deben estar articuladas al Ordenamiento de las Cuencas Hidrográficas.</p>
<p><b>Decreto 4728 de 2010</b></p>	<p>Modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010 principalmente en lo que respecta a la ampliación de los plazos estipulados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la elaboración y entrega de los criterios de calidad, normas de vertimientos y demás compromisos adquiridos en la Norma.</p>
<p><b>Decreto 1076 del 2015</b></p>	<p>Regula el uso de las aguas en todos sus estados afirmando que la preservación y manejo de las aguas son de utilidad pública e interés social. Así mismo, las aguas se clasifican en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado.</p>
<p><b>Resolución 104 de 2003</b></p>	<p>Reglamentaria del decreto 1729/02, establece criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.</p>

<p><b>Resolución 1023 de 2005</b></p>	<p>“Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación”</p>
<p><b>Resolución 1207 del 2014</b></p>	<p>Establece la obligación en cabeza del Estado y de los particulares de proteger las riquezas naturales de la Nación y planificar el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su conservación, restauración y uso sostenible.</p>

*Fuente: Autores, 2019.*

## **6. MARCO METODOLÓGICO**

### **6.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación empleada de acuerdo a nuestro programa fue Sostenibilidad y Gestión Ambiental, así como la sublínea o eje temático el cual corresponde a la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

### **6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación que se tuvo en cuenta para el desarrollo de esta temática fue el exploratorio, descriptivo y experimental. Exploratorio porque se descubrió cada una de las variables, recolectando datos mediante documentos, registros, entrevistas, etc.; descriptivo porque se especificó las particularidades de la finca, con el propósito de establecer las características geográficas y topográficas de la

misma, identificando cada una de las zonas productivas y no productivas de la finca y experimental porque se implementaron tres tipos de riegos diferentes para el cultivo de cebolla y se evaluó el comportamiento en cada uno de ellos.

### **6.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Los niveles de investigación de acuerdo con la naturaleza del estudio del proyecto, por su nivel sustenta las características de un estudio exploratorio, descriptivo y experimental.

### **6.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población objeto de estudio es la vereda de Sierra Montaña del municipio de La Jagua del Pilar perteneciente al departamento de la Guajira. Donde la extensión territorial total del municipio es de 152 km<sup>2</sup>, de los cuales 5 km<sup>2</sup> corresponden al área urbana, y 147 km<sup>2</sup> al área rural.

### **6.5 MUESTRA POBLACIONAL**

La muestra de esta investigación es no probabilística y según (Cuesta, 2009) El muestreo no probabilístico es una técnica de muestreo donde las muestras se recogen en un proceso que no brinda a todos los individuos de la población iguales oportunidades de ser seleccionados.

En este sentido la muestra es La Finca Las Miradas, la cual fue seleccionada teniendo en cuenta la accesibilidad, la disponibilidad del propietario y el criterio personal e intencional de los investigadores.

### **6.6 DESARROLLO METODOLÓGICO**

Para la realización de este proyecto se tuvo en cuenta cuatro etapas, en donde se hizo uso de diferentes técnicas, instrumentos y fuentes, tal como lo muestra la siguiente tabla:

*Tabla 2. Técnicas, instrumentos y fuentes.*

Etapas	TÉCNICA	INSTRUMENTOS	FUENTE
1.	Observación en campo.	Cuestionario Entrevistas	Administrador de la finca.
	Documentales	Páginas web	Ideam
2.	Habilidad e interacción	Software	Navegador Chrome.
3.	Recolección de datos	Listas de chequeo Matriz de registro	Autores.
4.	Organización de datos	Matriz de tabulación	Autores.

*Fuente: Autores, 2019.*

### **6.6.1 Etapa 1: Identificación de los impactos al recurso hídrico de acuerdo al sistema actual de captación y distribución del agua en la finca.**

**Actividad 1.1** Elaboración de un diagnóstico actual de la finca.

**Descripción:** Antes de proceder con el diseño de los modelos se hizo un diagnóstico técnico y ambiental del recurso hídrico en la finca con el fin de ver su estado actual.

**Actividad 1.2** Medición de caudal.

**Descripción:** La medición de este caudal se hizo utilizando el método volumétrico, en donde el procedimiento consistió en determinar el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de 10 litros, antes y después de la optimización de los sistemas. Esta operación se repitió 5 veces y se promedió con el fin de asegurar una mayor exactitud de los caudales obtenidos.

**Actividad 1.3** Análisis hidrológico de la microcuenca y de las precipitaciones de la zona a estudiar.

**Descripción:** Para el desarrollo de este análisis se tuvo en cuenta los datos obtenidos por el IDEAM, posteriormente se hizo un balance hídrico de la zona y se calcularon las precipitaciones medias para conocer el comportamiento hidrológico de la misma.

### **6.6.2 Etapa 2: Optimización del sistema de captación y distribución de agua en la finca Las Miradas**

En esta etapa se realizó un diseño de un modelo de captación y distribución de agua en la finca, en base al caudal que recibe se realizó el respectivo modelo teniendo en cuenta la necesidad del recurso hídrico para las actividades agrícolas y domésticas de la finca.

### **6.6.3 Etapa 3: Planteamiento de un modelo de riego adecuado para el cultivo de cebolla roja que permita facilidad de implementación a un bajo costo**

**Actividad 3.1** Se realizó el diseño de los modelos de riego por goteo, surcos y aspersión.

**Descripción:** Se diseñaron tres modelos de riego para el cultivo de cebolla correspondientes al de goteo, surcos y aspersión.

**Actividad 3.2** Implementación piloto de los tres modelos de riego.

**Descripción:** Se tomaron tres parcelas de 2 metros de largo y 2,7 metros de ancho Cada una y se procedió a sembrar la cebolla, 20 cm entre líneas o surcos y 30 cm entre plantas y se implementaron los tres tipos de riego respectivamente. Ver figura 8.

#### **6.6.4 Etapa 4: Elección de la mejor alternativa de ahorro de agua mediante los sistemas de riego empleados**

##### **Actividad 4.1** Análisis y evaluación de alternativas

**Descripción:** De acuerdo a los diseños de modelos de riego planteados se hizo un análisis de cada uno de ellos, teniendo en cuenta la economía y el más eficiente en cuanto al ahorro del agua.

##### **Actividad 4.2** Escoger la alternativa más eficiente.

**Descripción:** Después de hacer el análisis se escogió el modelo más conveniente para el cultivo de la cebolla.

#### **6.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de la investigación fue experimental en donde el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y por qué causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos (Palella y Martins, 2010). Y por último los comportamientos resultantes de este diseño se comparan con los comportamientos de los diferentes grupos y se escoge el más eficiente o el que le aporte más a la investigación.

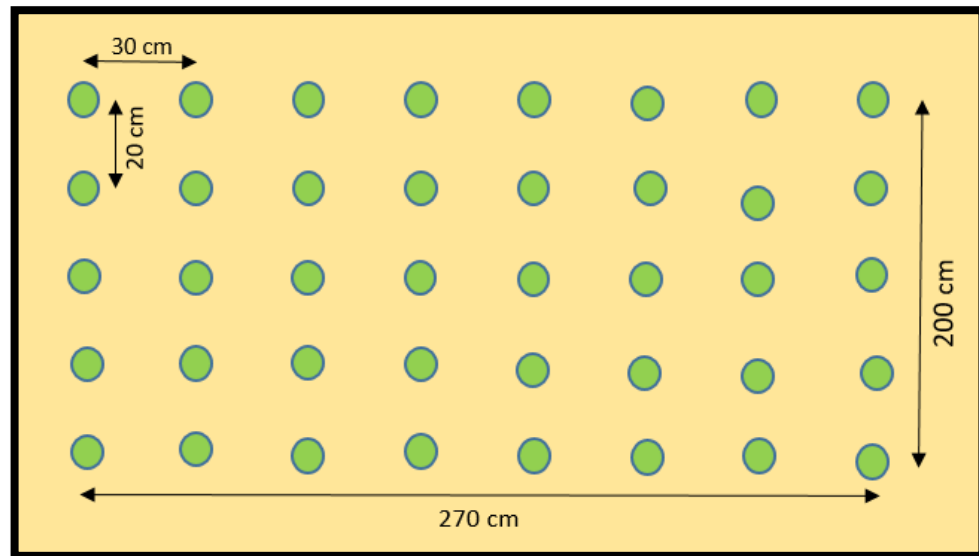


Figura 9. Parcela de cebolla.

Fuente: Autores, 2019.

A cada parcela se le empleó un tipo de riego diferente. A cada lote se le suministró agua y se tomó el tiempo para posteriormente poder calcular la velocidad y, asimismo, el gasto de agua. Después se hizo un cuadro latino utilizando el modelo estadístico de este diseño, el cual es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : es la medición de los tratamientos

$\mu$ : es la media global

$\tau_i$ : efectos de los tratamientos

$\beta_j$ : efectos de los bloques

$E_{ij}$ : error estándar, el cual es compartido en cada uno de los criterios de estratificación.

Después se hizo un análisis para determinar si hay diferencia entre los tratamientos en cuanto al gasto de agua, aquí se hizo uso de la prueba de diferencia mínima significativa, esta se hizo con el fin de determinar cuál es el riego más eficiente en cuanto al ahorro de agua para cultivo de cebolla.

## **7. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **7.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AL RECURSO HÍDRICO DE ACUERDO AL SISTEMA ACTUAL DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA FINCA.**

#### **7.1.1 Diagnóstico ambiental**

El diagnóstico ambiental, tiene como propósito detectar aquellos componentes, en cuanto al uso de los recursos naturales en un contexto determinado, en este caso, se identificaron cada uno de los factores que influyen directamente con la amigabilidad de la finca las Miradas con el medio ambiente.

En primer lugar, el clima de la zona de estudio es templado, debido a que se encuentra a una altitud de 1.319 msnm, con latitud 10° 25' 27" N y longitud 72° 59' 54" W.

Por otro lado, la hidrología del lugar de estudio cuenta con diferentes corrientes hídricas que pertenecen a la cuenca del río Cesar, a esta cuenca llegan las aguas de los ríos Marquezote y Pereira, los cuales hacen parte de las dos subcuencas importantes del municipio de La Jagua del Pilar. A la subcuenca del río Pereira drenan las aguas de la microcuenca detallada en la figura 10, la cual tiene un área de 238 ha y un perímetro de 8,4 Km.



*Figura 10. Delimitación de la microcuenca.*

*Fuente: Google Earth, 2020.*

De igual forma, dentro de la microcuenca descrita anteriormente se encuentra una fuente subterránea denominada manantial, este es un afloramiento natural perenne de agua, es decir, que permanentemente brota líquido entre las rocas; su caudal varía de acuerdo a las condiciones climáticas que se dan a lo largo del año; en época de verano alcanza un caudal promedio de 0,312 L/s (este valor fue tomado en el mes de febrero) y en época de invierno adquiere un caudal de hasta 0,418 L/s (este se tomó en el mes de octubre).

La fauna y flora del lugar es diversa, debido a las temperaturas templadas de la zona montañosa del Perijá. La vegetación en su gran mayoría está compuesta por jaguitos, mangos, ceibas, higuitos, pringamoza, helechos, entre otras plantas de bosque húmedo. Asimismo, se encuentran pastos naturales arbolados, en donde se

presentan diferentes cultivos de pan coger como yuca, aguacate, malanga, plátano y guineo.

Por último, se encuentran las tierras de cultivos, estas se refieren a las áreas de uso agrícola de la finca; los cultivos que actualmente hay son de tipo transitorio como ají, habichuela y cebolla. La fauna del lugar de estudio es comprendida por una gran variedad de animales silvestres, tales como saínos, venados, armadillos, ñeques, ponche, tigrillos, guartinaja entre otros.

La geología de la finca está sujeta a las características de la Serranía del Perijá, debido a que hace parte de la misma. En esta zona se encuentran rocas metamórficas como las metasedimentitas de Manaure y las rocas sedimentitas pérmicas. (PGRDJP, 2012)

### **7.1.2 Diagnóstico técnico**

El diagnóstico técnico en una finca agrícola, nos sirve como una herramienta necesaria para poder conocer la descripción general de infraestructura de la misma, identificar las capacidades y fortalezas con las que cuenta, también tiene en cuenta las diferentes alternativas de mejoramiento, planificación y ejecución de las actividades necesarias para mejorar el cultivo y la post-cosecha de las diferentes siembras que fueron implementadas en la misma.

De acuerdo con lo anterior, la finca las Miradas ubicada en el municipio de La Jagua del Pilar, La Guajira, cuenta con alrededor de 10 ha, en las cuales se encuentran sembrados cultivos como café, cacao, cebolla, aguacate, guineo, naranja, limón y mandarina. Siendo los cultivos de mayor producción el café y el cacao, obteniendo 10 quintales de café y 1 tonelada de cacao anualmente.

Por otro lado, la finca las miradas es abastecida de un manantial ubicado a 425 metros de distancia de la vivienda (ver figura 11); siendo allí el lugar donde se realiza la captación de agua de forma artesanal, es decir, es captada mediante un tubo de PVC de 4 pulgadas (ver figura 12) y este dirige el agua captada a un balde de polipropileno con un volumen de 20 litros, el cual cuenta con un filtro artesanal compuesto de tela en polietileno, conocido comúnmente como polisombra; a este balde, posteriormente se encuentra conectada en la parte inferior, una manguera de 1 pulgada y media en polipropileno.



*Figura 11. Vía de acceso al lugar de captación.*

*Fuente: Autores, 2020.*

En esta etapa de la captación del líquido, se ve reflejado como la naturaleza influye directamente sobre el sistema de captación artesanal, debido a que se producen taponamientos por acción de diferentes sedimentos de la zona que caen en el filtro (polisombra), como hojas, ramas y demás material vegetal.



Figura 12. Captación de la finca.

Fuente: Autores, 2020.

Para la fase de conducción del agua hacia la vivienda se tiene en cuenta la pendiente del terreno, la cual sirve para darle mayor velocidad y presión al momento de aprovecharla, esta conducción es realizada por medio de mangueras de pulgada y media, cabe destacar que, para obtener dicha velocidad y presión, los diámetros de la manguera disminuyen cada 120 metros, es decir, en la captación, la conducción del líquido empieza con el diámetro de una pulgada y media, a 240 metros el diámetro disminuye a 1 pulgada y finaliza con un diámetro de media pulgada al llegar a la finca.

La distribución del líquido en la finca, como se dijo anteriormente, es empleada por mangueras hacia los diferentes lugares donde se encuentran los cultivos, efectuándose los riegos con ayuda de aspersores mecánicos.

### 7.1.3 Medición de caudal

La medición de este caudal se hizo utilizando el método volumétrico, en donde el procedimiento consistió en determinar el tiempo que tardó en llenarse un recipiente

de 10 litros, antes y después de la optimización del sistema. Esta operación se repitió 5 veces y se promedió con el fin de asegurar una mayor exactitud de los caudales obtenidos, los cuales fueron:

### 7.1.3.1 Caudal del sistema de captación sin optimizar

Tabla 3. Tabla de tiempo promedio de caudal de captación 1.

CÁLCULO DE TIEMPO PROMEDIO	
Tiempo N° 1	48,65 seg
Tiempo N° 2	47,28 seg
Tiempo N° 3	48,09 seg
Tiempo N° 4	54,18 seg
Tiempo N° 5	49,93 seg
<b>Tiempo Promedio</b>	<b>49,62 seg</b>

Fuente: Autores, 2020

$$Q_1 = \frac{V}{T} = \frac{10L}{49,62 \text{ seg}} = 0,201 \text{ l/s}$$

Tabla 4. Tabla de tiempo promedio de caudal de captación 2.

CÁLCULO DE TIEMPO PROMEDIO	
Tiempo N° 1	141,72 seg
Tiempo N° 2	144,65 seg
Tiempo N° 3	146,39 seg
Tiempo N° 4	144,96 seg
Tiempo N° 5	145,20 seg
<b>Tiempo Promedio</b>	<b>144,58 seg</b>

Fuente: Autores, 2020

$$Q_2 = \frac{V}{T} = \frac{10L}{144,58 \text{ seg}} = 0,069 \text{ l/s}$$

$$Q_{Total} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{Total} = 0,201 + 0,069 = 0,27 \text{ l/s}$$

Para obtener el caudal total de captación que se encontró inicialmente en el manantial, se hicieron dos cálculos de caudal, debido a que el productor de la finca tomaba dos caudales para luego unirlos al tubo principal; al momento de hacer esta conexión, lo hacía de forma rudimentaria, sin utilizar accesorios que eviten pérdidas, conduciendo luego todo el líquido captado hacia la finca, tal como se muestra en la figura 13 y 14; obteniendo como resultado un caudal total de 0,27 l/s.

Se puede decir, que el caudal captado no es en totalidad el que posee el manantial, debido a que la técnica de captación utilizada no almacena o recoge el suficiente líquido, obteniendo así un caudal mínimo.



*Figura 13. Captación 1.*  
*Fuente: Autores, 2020.*



*Figura 14. Conexión al tubo madre.*  
*Fuente: Autores, 2020.*

Tabla 5. Tabla de tiempo promedio de caudal de llegada a la finca.

<b>CÁLCULO DE TIEMPO PROMEDIO</b>	
<b>Tiempo N° 1</b>	48,55 seg
<b>Tiempo N° 2</b>	47,93 seg
<b>Tiempo N° 3</b>	48,63 seg
<b>Tiempo N° 4</b>	49,91 seg
<b>Tiempo N° 5</b>	49,48 seg
<b>Tiempo Promedio</b>	<b>48,90 seg</b>

Fuente: Autores, 2020.

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{10L}{48,90 \text{ seg}} = 0,204 \text{ l/s}$$

El caudal que recibe la finca es de 0,204 l/s, y comparando este con el obtenido en la captación, se comprobó que existe una pérdida de 0,066 l/s, equivalente al 32 %, debido a las conexiones inadecuadas, ausencia de accesorios y a diferentes fugas encontradas en el transcurso de la conducción del líquido hacia la finca.

#### **7.1.4 Análisis hidrológico de la cuenca y de las precipitaciones de la zona**

El balance hídrico se calculó mediante el método de Thornthwaite y Mather (1957). Según las definiciones del informe final del plan de ordenamiento y manejo ambiental de la subcuenca del río Manaure (POMCA, 2010), las pérdidas en el almacenamiento del suelo se calculan a una tasa proporcional, dependiendo de la fracción de agua almacenada en el suelo. Estas pérdidas se calculan cuando la lluvia es insuficiente para cubrir la demanda de agua (ETP), la cual deja un déficit de agua (ETP-P); entonces a partir de la capacidad total de almacenamiento del agua en el suelo y del valor correspondiente al mes anterior (almacenamiento

anterior), se determina la fracción de agua almacenada para multiplicarlo por el déficit y así cubrir parte de dicho déficit. Para lo anterior se tuvo en cuenta que:

**La Evapotranspiración real (ETR):** es la evapotranspiración que realmente, según el método, ocurre en función del agua disponible (precipitación + almacenamiento).

**El Déficit (Df):** cuando la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial, se evapora y transpira toda el agua precipitada, la cantidad que hace falta para completar el total de ETP, se toma del almacenamiento y, si aun así no se completa el valor de ETP el faltante se considera como déficit (deficiencia).

**Excesos o escorrentías:** esta existe si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y hay un sobrante de agua una vez completado el almacenamiento en el suelo.

El balance hídrico fue realizado teniendo en cuenta los datos proporcionados por la estación hidrológica del IDEAM llamada Villanueva, ubicada en el departamento de la Guajira, esta es de tecnología convencional con categoría pluviométrica, cabe destacar que esta estación se encuentra cercana al municipio de la Jagua del Pilar. Con los datos de precipitación y temperatura proporcionados, se analizaron los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. De acuerdo a estos datos se asumió que la capacidad máxima de campo fue de 100 mm, debido a que este es el régimen de precipitación para un año normal.

A continuación, se presentan los análisis hídricos con sus respectivas curvas de balances de agua de los años anteriormente mencionados:

Tabla 6. Cálculo del balance hídrico del año 2015.

AÑO 2015													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA	27,53	27,26	27,62	28,57	29,37	30,16	30,13	30,11	30,21	30,19	30,15	29,49	
PRECIPITACIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0,3	114	194	46	0	354,3
ETP	137,79	123,23	138,24	138,38	147,00	146,08	150,80	150,70	146,32	151,10	146,03	147,60	1723,28
PREC. ÚTIL	-137,79	-123,23	-138,24	-138,38	-147,00	-146,08	-150,80	-150,40	-32,32	42,90	-100,03	-147,60	
CAMBIO ALM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,9	-42,9	0	0
ALMACEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,9	0	0	42,9
ETR	0	0	0	0	0	0	0	0,3	114	151,10	88,9	147,60	501,90
DÉFICIT	137,79	123,23	138,24	138,38	147	146,08	150,8	150,4	32,32	0	57,13	58,70	1280,07
ESCORRENTIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DIAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Fuente: Autores, 2020.

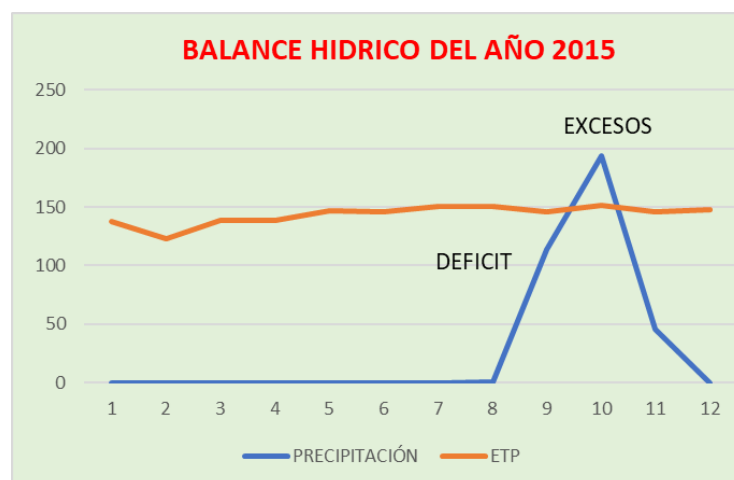


Figura 15. Balance Hídrico año 2015.

Fuente: Autores, 2020.

Al observar los datos determinados en la tabla 6 y en la figura 15, puede inferirse que hubo un déficit de agua anual de 1280,07 mm/año, durante todos los meses a excepción de octubre. El almacenamiento de agua anual fue de 42,9 mm y se presentó en el mes de octubre, por lo tanto, no hubo un llenado total del almacén, ni tampoco se generaron escorrentías.

Tabla 7. Cálculo del balance hídrico del año 2016.

AÑO 2016													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA	28,27	21,43	29,7	29,87	29,11	29,41	30	29,23	29,24	28,79	28,35	26,73	
PRECIPITACIÓN	0	0	0	120	222	33	0	82	54	276	113	21	<b>921</b>
ETP	141,49	96,88	148,65	144,68	145,70	142,45	150,15	146,30	141,63	144,09	137,31	133,78	<b>1673,11</b>
PRECIPIT UTIL	-141,49	-96,88	-148,65	-24,68	76,30	-109,45	-150,15	-64,30	-87,63	131,91	-24,31	-112,78	
CAMBIO ALM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	24,31	0	
ALMACEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	75,69	0	<b>175,69</b>
ETR	0	0	0	120	222	33	0	82	54	144,09	137,31	21,00	<b>813,41</b>
DEFICIT	141,49	96,88	148,65	24,68	76,3	109,45	150,15	64,3	87,63	0	0	112,78	<b>1012,31</b>
ESCORRENTIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,98	0	0	<b>31,98</b>
DIAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Fuente: Autores, 2020.



Figura 16. Balance Hídrico año 2016.

Fuente: Autores, 2020.

En el 2016 a diferencia del año anterior, como lo demuestra la tabla 7 y la figura 16, se presentó una precipitación anual de 921 mm, el déficit disminuyó a 1012,31 mm/añual y en el mes de octubre hubo mayor precipitación y por tanto se presentó una escorrentía de 31,98 mm.

Tabla 8. Cálculo del balance hídrico del año 2017.

AÑO 2017													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA	26,6	26,64	26,81	27,46	27,62	28,88	28,43	28,81	27,98	28,12	27,8	27,49	
PRECIPITACIÓN	0	0	25	105	220	58	73	196	98	94	113	0	<b>982</b>
ETP	133,13	120,43	134,18	133,00	138,24	139,88	142,29	144,19	135,52	140,74	134,65	137,59	<b>1633,86</b>
PRECIP. ÚTIL	-133,13	-120,43	-109,18	-28,00	81,76	-81,88	-69,29	51,81	-37,52	-46,74	-21,65	-137,59	
CAMBIO ALM	0	0	0	0	81,76	0	0	0	37,52	0	0	0	
ALMACEN	0	0	0	0	81,76	0	0	51,81	14,29	0	0	0	<b>147,86</b>
ETR	0	0	25	105	138,24	58	73	144,19	98	94	113	0	<b>848,43</b>
DÉFICIT	133,13	120,43	109,18	28	0	139,88	69,29	0	0	46,74	21,65	137,59	<b>805,89</b>
ESCORRENTIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
DÍAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Fuente: Autores, 2020.



Figura 17. Balance Hídrico año 2017.

Fuente: Autores, 2020.

Durante el año 2017, tal como lo muestra la tabla 8 y la figura 17, se presentaron precipitaciones en todos los meses, excepto en el mes de enero, febrero y diciembre, alcanzando 982 mm/anual, como consecuencia hubo menor déficit en comparación con los años anteriores.

Tabla 9. Cálculo del balance hídrico del año 2018

AÑO 2018													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA	27,52	27,41	27,01	28,16	28,97	29,32	29,1	28,76	27,43	28,03	27,2	26,9	
PRECIPITACIÓN	135	0	0	0	137	0	27	7	132	163	97	0	<b>698</b>
ETP	137,74	123,91	135,19	136,39	145,00	142,01	145,65	143,94	132,86	140,29	131,74	134,63	<b>1649,36</b>
PRECIP. ÚTIL	-2,74	-123,91	-135,19	-136,39	-8,00	-142,01	-118,65	-136,94	-0,86	22,71	-34,74	-134,63	
CAMBIO ALM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,71	0,00	0	
ALMACEN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,71	0	0	<b>22,71</b>
ETR	135	0	0	0	137	0	27	7	132	140,29	97	0	<b>675,29</b>
DÉFICIT	0	123,91	135,19	136,39	8	142,01	118,65	136,94	0,86	0	35	135	<b>971,32</b>
ESCORRENTÍA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
DÍAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Fuente: Autores, 2020.

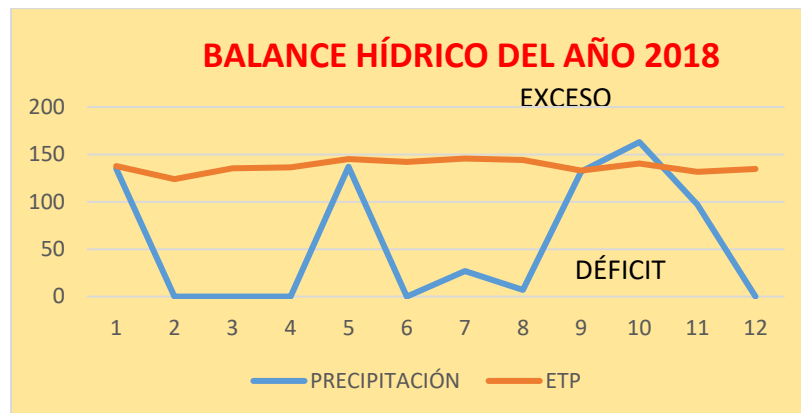


Figura 18. Balance Hídrico año 2018.

Fuente: Autores, 2020.

Teniendo en cuenta la tabla 9 y el gráfico 18, se puede apreciar que las precipitaciones disminuyeron notablemente en comparación con los tres años anteriores, por tanto, el déficit aumentó a 971,32 mm, el almacenamiento fue mínimo y por ende no se presentaron escorrentías en este año.

Tabla 10. Cálculo del balance hídrico del año 2019.

AÑO 2019													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMPERATURA	26,63	26,82	27,33	27,76	27,82	28,35	28,54	28,12	27,95	27,35	27,57	27,41	
PRECIPITACIÓN	0	0	0	0	96	59	55	309	82	213	85	5	904
ETP	133,28	121,24	136,79	134,46	139,24	137,31	142,84	140,74	135,38	136,89	133,54	137,19	1628,90
PRECIP. UTIL	-133,28	-121,24	-136,79	-134,46	-43,24	-78,31	-87,84	168,26	-53,38	76,11	-48,54	-132,19	
CAMBIO ALM	0	0	0	0	0	0	0	100	46,62	100	27,57	0	
ALMACEN	0	0	0	0	0	0	0	100	46,62	100	51,46	0	298,08
ETR	0	0	0	0	96	59	55	140,74	135,38	213	85	5	789,12
DEFICIT	0	121,24	136,79	134,46	43,24	78,24	87,84	0	0	0	49	0	650,35
ESCORRENTIA	0	0	0	0	0	0	0	68,26	0	22,73	0	0	90,99
DIAS DEL MES	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Fuente: Autores 2020.

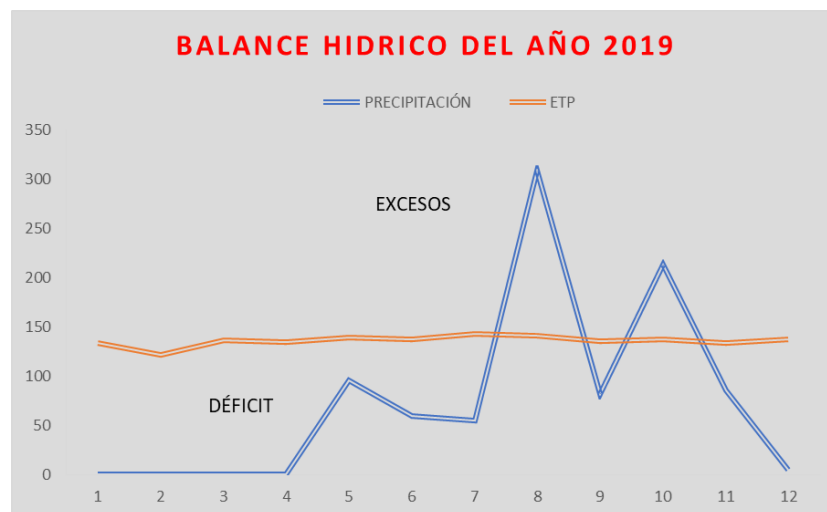


Figura 19. Balance Hídrico año 2019.

Fuente: Autores, 2020.

Según los datos obtenidos en tabla 10 y en la figura 19, en el año 2019, hubo un déficit de agua anual de 650 mm; sucedieron precipitaciones desde el mes de mayo al mes de diciembre, presentándose una mayor escorrentía de 90,99 mm en comparación con los años anteriores analizados.

#### **7.1.4.1 Análisis global del balance hídrico**

Teniendo en cuenta los análisis anteriormente realizados se puede decir que la zona de estudio presenta temperaturas constantes a lo largo del año, que varían entre los 26° y 29 °C. Por otro lado, la época de invierno se presentó en la mayoría de los años en los meses comprendidos entre septiembre, octubre y noviembre, alcanzando una mayor precipitación de 982 mm en el año 2017.

En todos los años estudiados, las precipitaciones fueron siempre inferiores a la evapotranspiración potencial, por lo tanto la evapotranspiración real coincidió con las precipitaciones y de igual forma, la reserva de agua se agotó, habiendo presencia permanente de déficit en los periodos analizados, siendo el mayor en el año 2015, con un valor de 1280,07 mm; como consecuencia de este fenómeno, no hubo presencia de escorrentías, a excepción del año 2019, en donde el déficit fue menor en comparación con los demás, por ello se produjo una mayor escorrentía.

De acuerdo a los resultados del análisis hídrico, se puede concluir que la zona en cuestión, presenta altos índices de escasez de recurso hídrico, debido a las precipitaciones mínimas anuales, derivándose de esto, agotamientos en las reservas de agua. Por esta razón, es pertinente implementar estrategias que tengan como propósito el ahorro y uso eficiente del preciado líquido.

## **7.2 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LA FINCA LAS MIRADAS**

### **7.2.1 Optimización del sistema de captación**

Para la optimización hidráulica y dimensionamiento de la captación, dependió en gran parte de la topografía y accesibilidad a la zona, también de la textura del suelo y de la clase del manantial, siendo este de tipo difuso, debido a que el afloramiento del agua ocurre por varios puntos.

Para no modificar la calidad, la corriente y el caudal natural del manantial, se debe evitar cualquier tipo de obstrucción, ya que este puede tener consecuencias fatales, tales como la disminución del caudal, desviación del cauce, y en el peor de los casos, la pérdida total o desaparición del manantial. (Agüero, 2004).

Asimismo, el decreto 1449 de 1977, estableció obligaciones a los propietarios de predios para la conservación, protección, y aprovechamiento de las aguas, bosques, fauna terrestre, acuática, y suelos.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, para el desarrollo de esta investigación, se optó por optimizar las condiciones en las que fue encontrado el sistema, sustituyendo el tanque de captación hallado e implementando accesorios y elementos necesarios para una mejor captación y conducción del líquido. A continuación, se muestra el tanque anterior comparado con el tanque mejorado.



Figura 20. Tanque encontrado (izquierda) y tanque optimizado (derecha).

Fuente: Autores, 2020.

### **7.2.1.1 Características del tanque de captación**

El material del tanque empleado es de polipropileno, en la parte superior se le instalaron dos cubiertas, una malla en tejido rasheel en polietileno comunmente llamada polisombra, lo que permite la filtración de las partículas de arena y grava

que son arrastradas por la acción del agua. Sobre la anterior se encuentra la segunda cubierta denominada malla zaranda, la cual es resistente a los efectos del medio ambiente y sirve de filtro para impedir el paso de partículas boscosas que pueden taponar el sistema.

A una altura de 3 cm del fondo del tanque, se situó el desagüe con 1" de diámetro, con el propósito de que se realice su limpieza y de esta forma, no desmontarlo del sitio en el que se encuentra. Seguido de este, a 17 cm del desagüe, se instaló un accesorio denominado flanche, que permitió la conexión del tubo madre de 1 ½" al recipiente de almacenamiento, con la finalidad de evitar pérdidas del líquido al momento de transportarlo hacia la finca. (Ver figura 21)

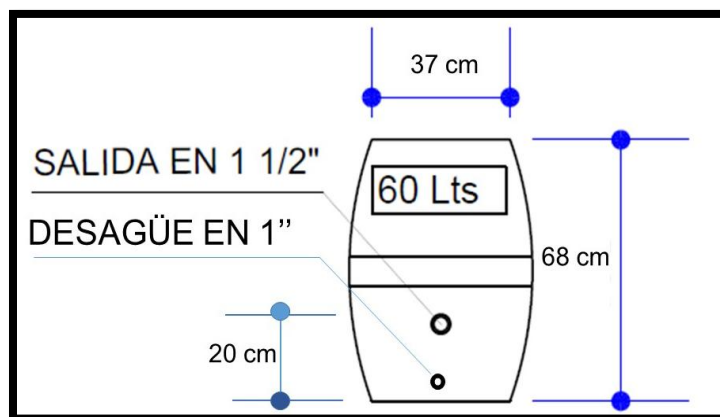


Figura 21. Medidas del tanque de captación.

Fuente: Autores, 2020.

### 7.2.1.2 Optimización del sistema de captación

Después de haber realizado el respectivo montaje del tanque, se procedió con la medición del caudal de salida de la captación, este se calculó de la misma manera que los caudales medidos en la etapa de diagnóstico, es decir, con el método volumétrico. A continuación, se muestran los respectivos datos y cálculos.

Tabla 11. Tabla de tiempo promedio de caudal de captación optimizado.

<b>CÁLCULO DE TIEMPO PROMEDIO</b>	
<b>Tiempo N° 1</b>	35,26 seg
<b>Tiempo N° 2</b>	33,87 seg
<b>Tiempo N° 3</b>	32,79 seg
<b>Tiempo N° 4</b>	33,74 seg
<b>Tiempo N° 5</b>	33,76 seg
<b>Tiempo Promedio</b>	<b>33,87 seg</b>

Fuente: Autores, 2020.

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{10L}{33,87 \text{ seg}} = 0,295 \text{ l/s}$$

Analizando los datos de caudales obtenidos se vio el aumento significativo, esto debido a los cambios realizados en los elementos y la adición de los nuevos accesorios para la conducción del líquido.

Tabla 12. Tabla de tiempo promedio de caudal de llegada a la finca optimizado.

<b>CÁLCULO DE TIEMPO PROMEDIO</b>	
<b>Tiempo N° 1</b>	33,60 seg
<b>Tiempo N° 2</b>	33,97 seg
<b>Tiempo N° 3</b>	34,50 seg
<b>Tiempo N° 4</b>	33,69 seg
<b>Tiempo N° 5</b>	34,13 seg
<b>Tiempo Promedio</b>	<b>33,97 seg</b>

Fuente: Autores, 2020.

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{10L}{33,97 \text{ seg}} = 0,294 \text{ l/s}$$

De acuerdo a lo anterior, se evidencia el aumento del caudal en un 9% en el lugar de captación y un 44% en el caudal de llegada a la finca, lo que indica que las pérdidas en la conducción disminuyeron notablemente.

También mejoró la calidad de agua, donde no se evidenció sedimentos propios del lugar de captación. Del mismo modo, no se notó la intermitencia del líquido que se venía presentando con frecuencia.

### 7.2.2 Diseño de la distribución del agua para los riegos

En el diseño de la fase de distribución se tuvo en cuenta la topografía del terreno para la ubicación del tanque de almacenamiento, el cual tiene una capacidad máxima de 500 litros. (Ver figura 22)

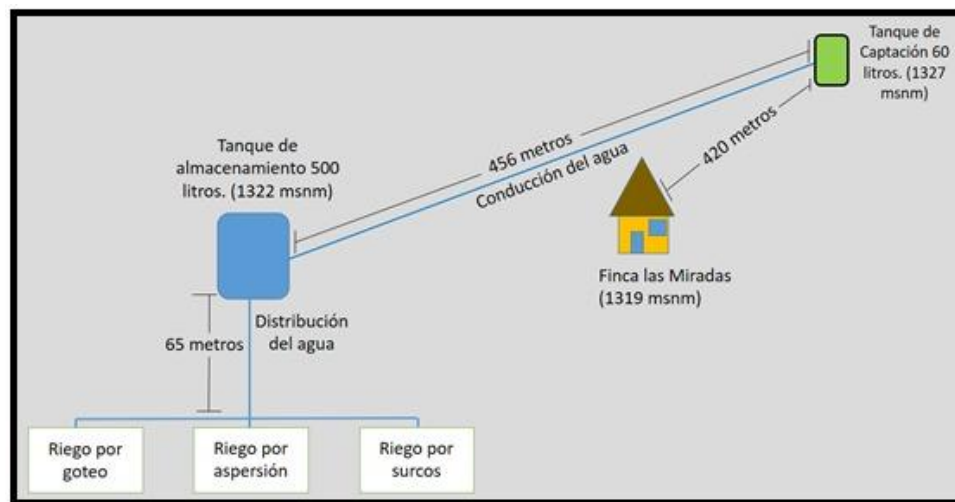


Figura 22. Esquema en planta de la la captación, conducción, distribución y derivación del agua en la finca Las Miradas.

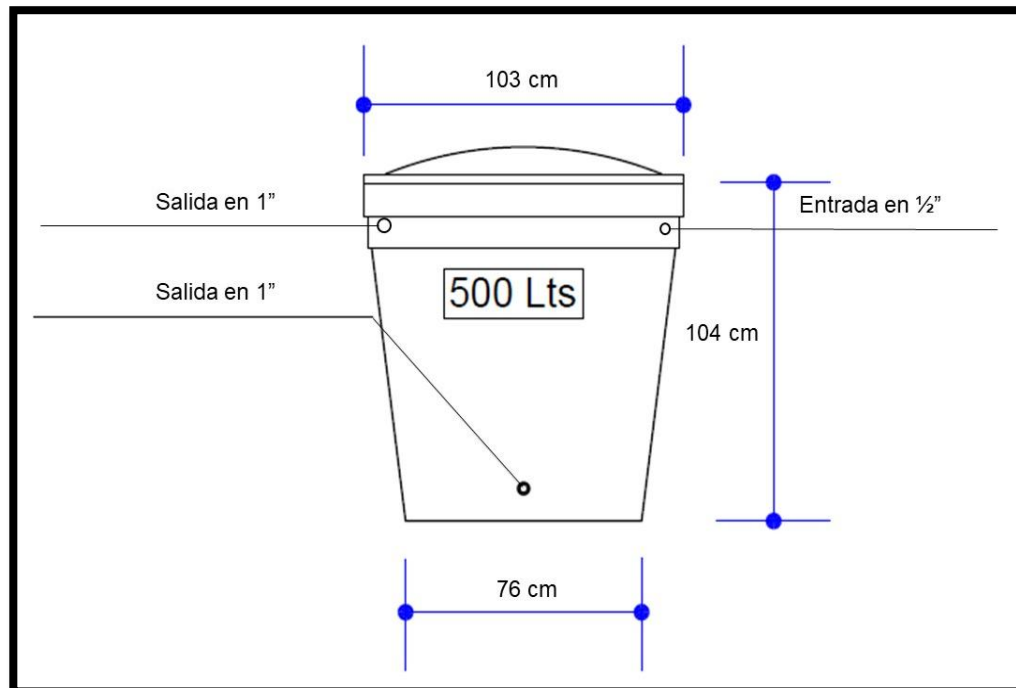
Fuente: Autores, 2020.

Para el montaje e instalación del tanque se utilizaron los siguientes materiales:

*Tabla 13. Materiales para montaje del tanque de almacenamiento.*

MATERIALES	CANT.
<b>Adaptador macho 1"</b>	2
<b>Adaptador macho ½ "</b>	3
<b>Cheque horizontal ½ "</b>	1
<b>Flanche tanque elevado 1"</b>	2
<b>Flanche tanque elevado ½"</b>	1
<b>Llave de paso plástica ½ "</b>	1
<b>Llave de paso plástica 1"</b>	1
<b>Teflón industrial</b>	1
<b>Tubo pvc 1"</b>	3m
<b>Tubo pvc ½ "</b>	2
<b>Soldadura pvc</b>	1

*Fuente: Autores, 2020*



*Figura 23. Dimensiones del tanque de almacenamiento.*

*Fuente: Autores, 2020.*

Después de ubicar el tanque de almacenamiento a 65 metros de distancia a las parcelas, se procedió con la instalación de cada uno de los accesorios y materiales necesarios para el correcto funcionamiento y distribución del líquido de la siguiente manera:

En primer lugar, se acoplaron los accesorios de entrada y salida llamados flanches para el empalme de las tuberías con el tanque, tal como lo muestra la figura 23.

Seguido a esto, se realizaron los cortes de las tuberías y la instalación de la llave de paso para la salida del agua.

Luego, para la tubería de entrada de agua al tanque, se situó el cheque horizontal de 1/2", con el fin de evitar que el agua retorne nuevamente por acción de la gravedad.

Finalmente, se instaló la manguera de salida de 1 pulgada en dirección a las parcelas de cebolla (ver anexo 7). Este diámetro se redujo a ½ pulgada a 30 metros de llegar a la parcela, con la finalidad de obtener mayor velocidad de llegada.

Para conocer esta velocidad, fue necesario implementar varios principios del comportamiento de los fluidos descritos a continuación.

### **7.2.2.1 Principio de Torricelli**

Este es una aplicación del principio de Bernoulli, en donde estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad. A partir de este teorema de Torricelli se calculó el caudal y velocidad de salida del agua contenida en el tanque de almacenamiento.

Ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

Donde:

P: Presión a lo largo de la corriente del flujo.

V: Velocidad de flujo.

g: Constante de gravedad.

y: Altura de la cota de referencia.

$\rho$ : Densidad del fluido.

Entonces:

$$P_{atm} + 0 + \rho g h = P_{atm} + \frac{1}{2}\rho v^2 + 0$$

Se cancelaron las presiones atmosféricas y se obtuvo:

$$\rho gh = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Como de ambos lados de la ecuación está la densidad, se puede cancelar, y el dos que está dividiendo, sube a multiplicar. Por último se saca la raíz cuadrada, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$\sqrt{2gh} = v$$

La anterior ecuación es la que se conoce como el principio de Torricelli, donde la velocidad de salida se puede obtener en función de la altura del tanque, es decir, del nivel de fluido con respecto al orificio de salida.

Por último se sustituyeron los valores:

$$v = \sqrt{2(9,8 \text{ m/s}^2)(1,04\text{m})}$$

$$v = \sqrt{20,38 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$v = 4,51 \text{ m/s}$$

Obteniendo que, la velocidad con la que saldrá el flujo del tanque de almacenamiento es de 4,51 m/s

### **Cálculo del caudal de salida**

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A_2 * \Delta x}{\Delta t} = A_2 * v_2$$

Donde:

$\Delta V$ : Tasa de variación de volumen.

$\Delta t$ : Tiempo.

$A_2$  : Área del orificio de salida.

$\Delta x$ : Altura del cilindro.

Por tanto se obtuvo que:

$$Q = A_2 * v_2$$

$$Q = A_2 * (4,51 \text{ m/s})$$

Se procedió a calcular el area, de la siguiente forma:

$$A_2 = \pi * r^2$$

En donde r es el radio, que equivale a la mitad del diametro, es decir, el diametro de salida de flujo es de 1", por tanto el radio seria media pulgada, equivalente a 0,0127 m, reemplazando se consigue:

$$A_2 = \pi * (0,0127\text{m})^2 = 0.000051\text{m}^2$$

Reemplazando en la ecuación de caudal, se obtiene:

$$Q = 0.000051\text{m}^2 * (4,51 \text{ m/s})$$

$$Q = 0.00023 \text{ m}^3/\text{s} = 0,23 \text{ L/s}$$

### **7.3 PLANTEAMIENTO DE UN MODELO DE RIEGO ADECUADO PARA EL CULTIVO DE CEBOLLA ROJA QUE PERMITA FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN A UN BAJO COSTO**

Para la realización de esta esta etapa se diseñó el modelo de riego para el cultivo de cebolla correspondiente al de goteo, surcos y aspersion.

A continuación, se presentan los cálculos realizados para cada tipo de riego implementado.

### 7.3.1 Parámetros de diseño de riego por surcos

#### 7.3.1.1 Cálculo de pendiente del terreno

Para el cálculo de la pendiente del terreno se tuvo en cuenta que el suministro del agua al cultivo no es únicamente por el riego, sino también por la lluvia, por esto fue necesario que la pendiente de los surcos fueran lo suficientemente bajas como para que la erosión causada por la lluvia sea mínima. Generalmente las pendientes de los surcos en estas condiciones son máximas del 1%

$$S = \frac{h * 100}{r}$$

Siendo:

S: Pendiente del terreno en %

h: Distancia de bajada en m

r: Longitud horizontal del surco

Entonces,

$$S = \frac{0,025 * 100}{2,70} = 0,93\%$$

### 7.3.1.2 Forma de los surcos

Teniendo en cuenta que el tipo de suelo de la zona de estudio es arcilloso, en donde movimiento del agua es más de manera lateral que vertical, los surcos se realizaron anchos y poco profundos, es decir rectangulares.



Figura 24. Parcela de riego por surcos

Fuente: Autores, 2020

### 7.3.1.3 Humedecimiento de los surcos

Considerando la forma de los surcos, en donde el movimiento del agua es en sentido vertical y lateral, permitiendo tener una superficie húmeda; la misma que debe sobreponerse con las superficies húmedas de todos los surcos siguientes para que se produzca el movimiento de capilaridad y se moje el lomo, debido a que en él se encuentra la zona radicular del cultivo en la primera fase del ciclo vegetativo. (CONGOPE, 2014)

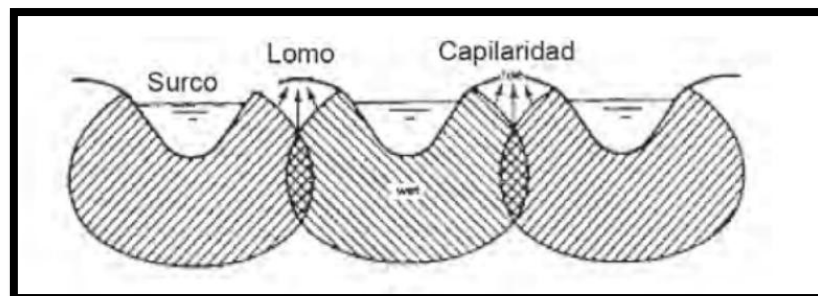


figura 25. Humedecimiento correcto de surcos.

Fuente: CONGOPE, 2014

#### **7.3.1.4. Caudal máximo no erosivo**

El volumen de agua aplicado al surco debió ser tal que no cause problemas de erosión al suelo, no destruya la forma del surco y que no ocasionara daños a las plantas. Su valor varía de acuerdo a la textura del suelo que tenemos en nuestra parcela (CONGOPE, 2014). La fórmula empleada para su cálculo es la propuesta por Marr:

$$Q_{max} = \frac{0,96}{s}$$

Dónde:

Q<sub>max</sub> = Flujo máximo no erosivo por surco.

S = Pendiente del surco %

$$Q_{max} = \frac{0,96}{0,93} = 1,03 \text{ ltr/seg/surco}$$

#### **7.3.1.5 Reserva de agua disponible**

La reserva de agua disponible es la cantidad de agua que debe almacenarse en la zona de las raíces de la cebolla, con el fin de llevar al suelo una capacidad de campo después de un riego, siendo la capacidad de campo la cantidad de agua que el suelo puede retener.

A continuación, se muestra la tabla de valores promedios de las propiedades físicas del suelo según la estructura, donde escogimos los datos para el tipo de suelo franco arcilloso.

Tabla 14. valores promedios de las propiedades físicas del suelo según la estructura.

TEXTURA	VELOCIDAD INFILTRACION	ESPACIO POROSO	DENSIDAD APARENTE	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITEZ
	Mm/h	%	1	2 - %	3 - %
ARENOSO	50 (25 o más)	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6 - 14)	4 (2-6)
FRANCO ARENOSO	25 (13-40)	43 (40-47)	1.50 (1.40 - 1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)
FRANCO	13 (7-20)	47 (43-49)	1.40 (1.35 - 1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)
FRANCO ARCILLOSO	8 (2-15)	49 (47-51)	1.35 (1.30 - 1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)
ARCILLO LIMOSO	2.5 (0,2-5)	51 (49-53)	1.30 (1.26 - 1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)
ARCILLOSO	0.5 (0.1 - 1)	53 (51-55)	1.25 (1.20 - 1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)

Fuente: CONGOPE 2004

**Reserva de agua disponible:**

$$Ra = ( Cc - Pm ) da x pr$$

Donde:

Cc: Capacidad de campo %

Pm: Punto de marchitez %

da: Densidad aparente.

pr: Profundidad radicular (m)

Entonces:

$$Ra = ( 0,23 - 0,11 ) 1,35 x 0,20 = 0,0324m = 32,4mm$$

### 7.3.1.6 Lámina neta ( $L_n$ )

Para determinar la lámina neta es necesario saber la humedad aprovechable del suelo y la fracción de agotamiento, esta última, es proporcionada por la tabla fracción de agotamiento del agua disponible para el cultivo de cebolla.

Tabla 15. Fracción de agotamiento del agua.

Cultivo	f
Alfalfa	0.60
Aguacate	0.30
Apio	0.15
Brócoli	0.30
Caña de azúcar	0.60
Cebolla	0.30
Coliflor	0.45
Fresa	0.10
Frutales hoja caduca	0.40
Guisante-arveja	0.25
Judía-fréjol	0.50
Lechuga	0.35

Fuente: Fuentes, 2003

### Lámina neta:

$$L_n = R_a \times f_r$$

$$L_n = 32,4 \times 0,30 = 9,72 \text{ mm}$$

### 7.3.1.7 Lámina total ( $L_t$ )

Para estar seguros de la cantidad de agua que requiere el cultivo y la cantidad retenida en la zona radicular, es necesario aplicar una mayor cantidad de agua al terreno, con el fin de contrarrestar las pérdidas.

Esta cantidad de agua se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$Lt = \frac{Ln}{Ea}$$

Los valores de la eficiencia de la aplicación dependen del tipo de riego, en este caso, el de riego por surcos.

*Tabla 16. Eficiencias de aplicación de agua para diferentes sistemas de riego.*

<b>Riego por surcos</b>	0.50 – 0.70
<b>Riego por fajas</b>	0.60 – 0.75
<b>Riego por inundación</b>	0.60 – 0.80
<b>Riego por inundación permanente ( arroz )</b>	0.30 – 0.40
<b>Riego por aspersión</b>	0.65 – 0.85
<b>Riego por goteo</b>	0.75 – 0.90

*Fuente: Fuentes, 2003.*

$$Lt = \frac{9,72}{0,30} = 32,4 \text{ mm}$$

### **7.3.1.8 Tiempo de riego (Tr)**

El tiempo de riego es el necesario para que la lámina total de agua se infiltre en el terreno y está dada por la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{\text{Lámina total}}{\text{Velocidad de infiltración}}$$

Reemplazando los valores se obtuvo que:

$$Tr = \frac{32,4\text{mm}}{12\text{mm/h}} = 2,7 \text{ horas}$$

### **7.3.1.9 Cantidad de agua total requerida para el riego por surcos**

Para el cálculo de la cantidad de agua requerida a lo largo de la semana se realizó la siguiente operación:

$$Ca = Q * T$$

Donde:

Ca: Cantidad de agua

Q: Caudal que recibe la parcela =  $0,294 * 60 \text{ seg} * 60 \text{ min} = 1058,4 \text{ L/h}$

T: Tiempo de riego

Entonces:

$$Ca = 1058,4 \frac{\text{L}}{\text{h}} * 2,7 \text{ h} = 2857.61 \text{ Litros por 6 días}$$

Cada día se deben aplicar al cultivo 476,28 litros de agua, para mantener la zona radicular húmeda.

### 7.3.2 Parametros de diseño de riego por aspersión

Para los cálculos del diseño del riego por aspersión, se tuvo en cuenta los pasos de los parámetros del riego por surcos, en donde solo se modificaron los valores de la eficiencia de aplicación para el cálculo de la lámina neta, y por consiguiente el valor de la ecuación del tiempo de riego, obteniendo con esto los siguientes resultados:

#### 7.3.2.1 Lámina total (Lt)

$$Lt = \frac{Ln}{Ea}$$

$$Lt = \frac{9,72}{0,65} = 14,95 \text{ mm}$$

#### 7.3.2.2 Tiempo de riego (Tr)

$$Tr = \frac{\text{Lámina total}}{\text{Velocidad de infiltración}}$$

$$Tr = \frac{14,95 \text{ mm}}{12 \text{ mm/h}} = 1,24 \text{ horas}$$

### **7.3.2.3 Cálculo de caudal emitido por el aspersor**

Se calculó el caudal del aspersor mediante el método volumétrico, donde se obtuvo el tiempo que tardó en llenarse un recipiente de 5 litros, teniendo como resultado un caudal promedio de 0,041 L/s equivalente a 147,6 L/h.

### **7.3.2.4 Cantidad de agua total requerida para el riego por aspersión**

$$Ca = Q * T$$

Donde:

Ca: Cantidad de agua

Q: Caudal que recibe la parcela

T: Tiempo de riego

$$Ca = 147,6 \frac{L}{h} * 1,24 h = 183,02 L$$

Cada día se deben aplicar al cultivo 183,02 litros de agua, para garantizar el correcto crecimiento de la planta en este tipo de riego.

### **7.3.3 Parámetros para diseño de riego por goteo**

En el diseño del tipo de riego por goteo, se utilizó una cinta de riego especial, con goteros incorporados cada 10 centímetros, cuya ficha técnica dice emitir 0,9 litros por hora.

Para obtener la necesidad de agua a lo largo del tiempo de sembrado, se realizaron los siguientes cálculos:

#### **7.3.3.1 Lamina total (Lt)**

$$Lt = \frac{Ln}{Ea}$$

$$L_t = \frac{9,72}{0,75} = 12,96 \text{ mm}$$

### **7.3.3.2 Tiempo de riego ( $T_r$ )**

$$T_r = \frac{\text{Lámina total}}{\text{Velocidad de infiltración}}$$

$$T_r = \frac{12,96 \text{ mm}}{12 \text{ mm/h}} = 1,08 \text{ horas}$$

### **7.3.3.3 Cantidad de agua total requerida para el riego por goteo**

$$C_a = 121,5 \frac{L}{h} * 1,08 \text{ h} = 131,22 \text{ L}$$

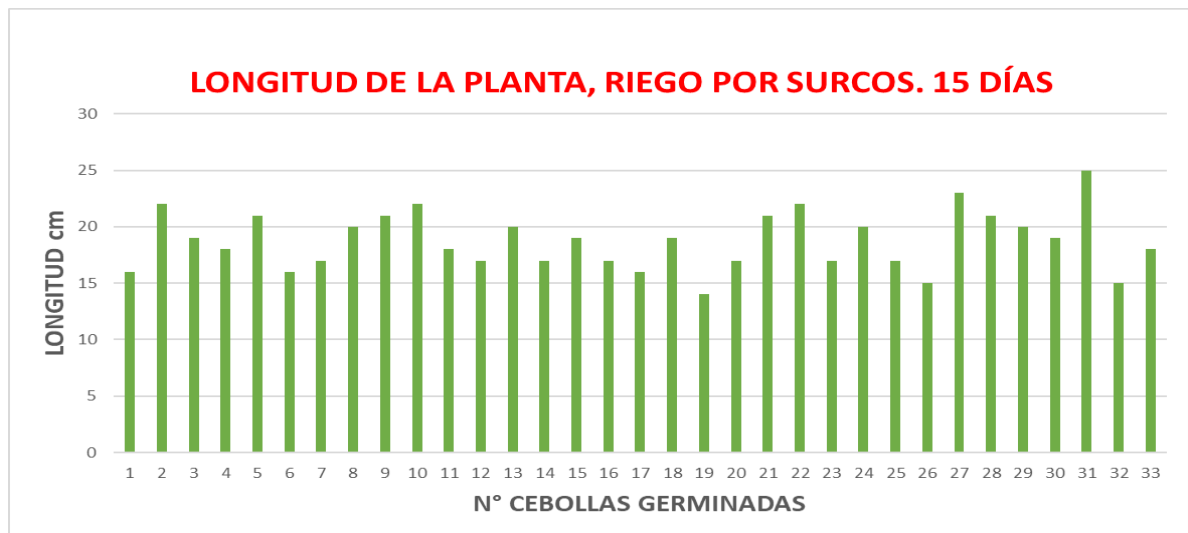
Cada día se deben aplicar al cultivo 131,22 litros de agua, para garantizar el correcto crecimiento de la planta en este tipo de riego.

## **7.3.4 Implementación piloto de los tres modelos de riego**

En base a los cálculos anteriores, se procedió a realizar la siembra de la cebolla en las tres parcelas, aplicando los tres tipos de riego (surcos, aspersión y goteo) cada una de estas con medidas de 2 metros de largo y 2,7 metros de ancho, sembrándolas 20 cm entre líneas o surcos y 30 cm entre plantas. (ver anexo 1, 2).

### **7.3.4.1 Seguimiento y control del riego por surcos**

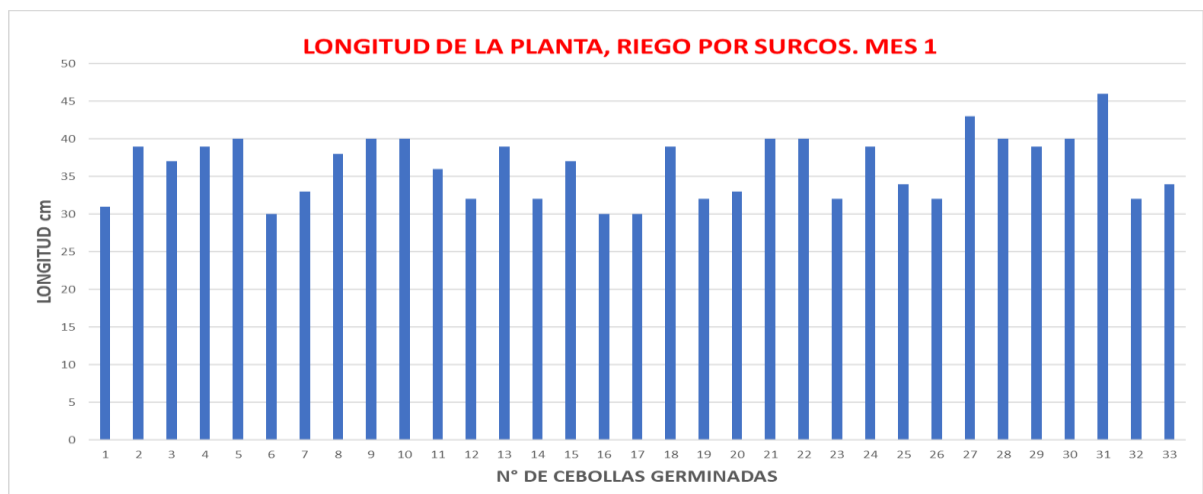
A continuación, se procedió a medir el crecimiento de las plantaciones y características físicas de las mismas, obteniendo como resultado los siguientes datos:



*Figura 26. Longitud de la planta, riego por surcos. 15 días.*

*Fuente: Autores, 2020*

De acuerdo a la gráfica anterior, correspondiente al riego por surcos, se evidenció que, a los 15 días, de 40 cebollas sembradas en la parcela, solo germinaron 33, con una longitud promedio de 18,75 cm. Por otro lado, transcurrido este tiempo, las características físicas de las hojas son de forma alargada y cilíndricas con un color verde claro.



*Figura 27. Longitud de la planta, riego por surcos. Mes 1.*

*Fuente: Autores, 2020.*

Transcurridos 30 días, se midió nuevamente la longitud de la planta, y se observó que los tallos y hojas de forma cilíndrica tuvieron un aumento de 17,55 cm, con respecto al promedio de la longitud de los 15 días pasados. En este tiempo, los tallos fueron más fuertes, resistiendo los vientos nocturnos.



*Figura 28. Longitud de la planta, riego por surcos. 45 días.*

*Fuente: Autores, 2020.*

Pasados 45 días, se pudo observar un alargamiento de las hojas 22,32 cm con respecto a la longitud anterior, y se empezó a asomar en pequeña proporción el bulbo a través de la tierra. Cabe resaltar que alrededor de las plantaciones hubo un control de maleza y plagas, evitando que estas absorbieran los nutrientes esenciales para el crecimiento de la cebolla, tales como el azufre, magnesio, fósforo y nitrógeno.

### **Dos meses post-siembra**

Para esta época, el crecimiento de las hojas y tallo se mantuvo en la misma longitud. El bulbo empezó a notarse un poco más a través de la tierra. Se siguió implementando el control de la maleza y plaga, llevándose a cabo controles biológicos para la prevención de alguna plaga o enfermedades. Pero aun

implementando estos controles, siete plantas presentaron tonalidades amarillentas en la punta de las hojas, por tanto, estas fueron tratadas con una mínima cantidad de insecticida (lorsban) para contrarrestar el daño.

### **Dos meses y 15 días post-siembra**

Durante este tiempo, algunos de los tallos se doblaron, quedando las hojas tocando un poco la superficie del suelo y mostrándose mucho más el bulbo; este hecho indicó que ya se aproxima el tiempo de la cosecha.

### **Tres meses post-siembra**

Pasados 90 días de haber realizado la siembra de las cebollas, se notó que todos los bulbos se encontraban sobre la superficie y con sus hojas tocando totalmente el suelo, alcanzando de esta manera su máximo crecimiento. Posterior a esto, se procedió a retirarlas, donde se observaron las características físicas, y se realizaron las respectivas medidas de sus diámetros.

#### ***7.3.4.2 Seguimiento y control del riego por aspersión***

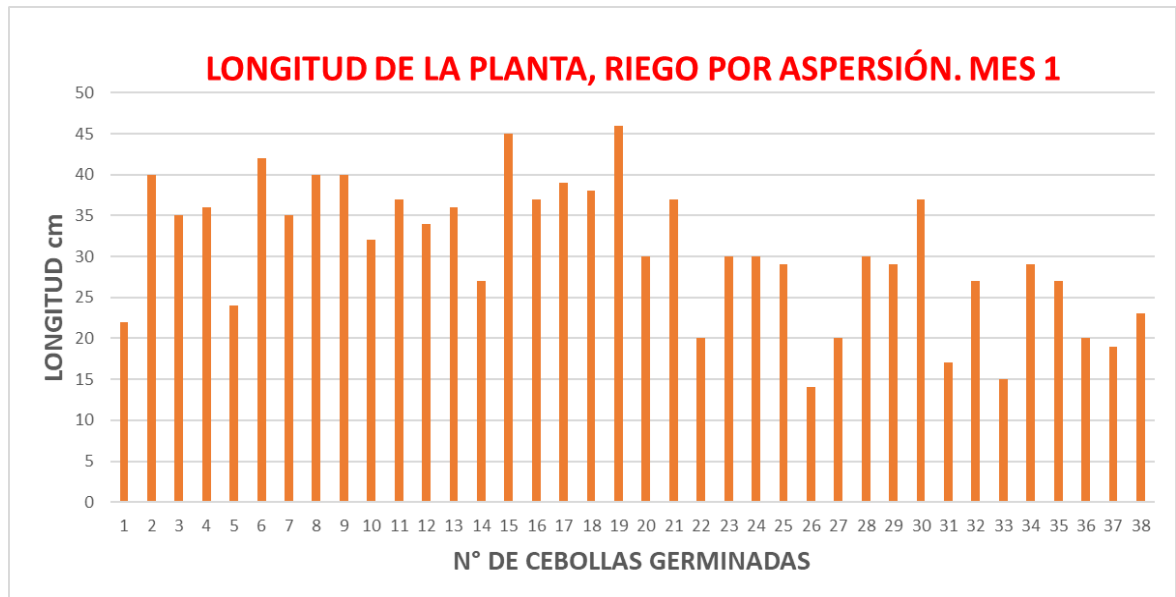
A continuación, se realizó el seguimiento y control del riego por aspersión, obteniendo como resultado las siguientes gráficas y datos:



*Figura 29. Longitud de la planta, riego por aspersion. 15 días.*

*Fuente: Autores, 2020*

Al observar los datos correspondientes al riego por aspersion, se comprobó a los 15 días, que, de 40 cebollas sembradas en la parcela, germinaron 38, con una longitud promedio de 14,86 cm. Pasado este tiempo, las características físicas de las hojas son de color verde, de forma alargadas y cilíndricas, tal como las del riego por surcos.



*Figura 30. Longitud de la planta, riego por aspersión Mes 1.*

*Fuente: Autores, 2020*

Durante 30 días de sembrado, la longitud promedio de las plantas fue de 30,73 cm. En esta época, al igual que los tallos del riego por surcos, fueron más resistentes, soportando los vientos producidos en las horas de la noche.



*Figura 31. Longitud de la planta, riego por aspersión 45 días.*

*Fuente: Autores, 2020*

Pasado un mes y 15 días, la longitud promedio del tallo y hojas de las cebollas fue de 32,63 cm, Comenzando a aparecer, en pequeña proporción el bulbo a través de la tierra. Al mismo tiempo que en el riego por surcos, se realizó el control de maleza, evitando así, la proliferación de la misma.

### **Dos meses post-siembra**

En este tiempo se pudo apreciar que el crecimiento de las plantas no fue de manera uniforme, es decir, 26 plantas fueron de mayor tamaño y en 12 hubo un menor desarrollo. Debido a esto, el bulbo solo se pudo apreciar en las plantas más desarrolladas. También se llevó a cabo el control de la maleza y plaga como en el riego anteriormente plasmado, ejecutando fumigaciones.

### **Dos meses y 15 días post-siembra**

Transcurridos 75 días de haber realizado la siembra, se observó que la mayoría de las plantas con menor crecimiento lograron desarrollarse. Físicamente, los bulbos de las cebollas se pudieron ver con un tamaño más significativo y las hojas comenzaron a doblarse, con lo que se comprendió que el tiempo de la cosecha estaba cada vez más cerca. (Ver anexo 3)

### **Tres meses post-siembra**

Acontecidos tres meses del sembrado de las cebollas, se apreció que la mayoría de los bulbos se encontraron ya sobre la superficie, con la particularidad de las hojas tocando el suelo, característica que indicó que el momento de la cosecha había llegado. Seguido a esto, se realizó la extracción, en donde se identificaron las características físicas, y se tomaron las pertinentes medidas de sus diámetros. (ver anexo 4)

### 7.3.4.3 Seguimiento y control del riego por goteo

A continuación, se implementó el seguimiento y control del riego por goteo, logrando como resultado los siguientes tablas y análisis.



Figura 32. Longitud de la planta, riego por goteo. 15 días.

Fuente: Autores, 2020.

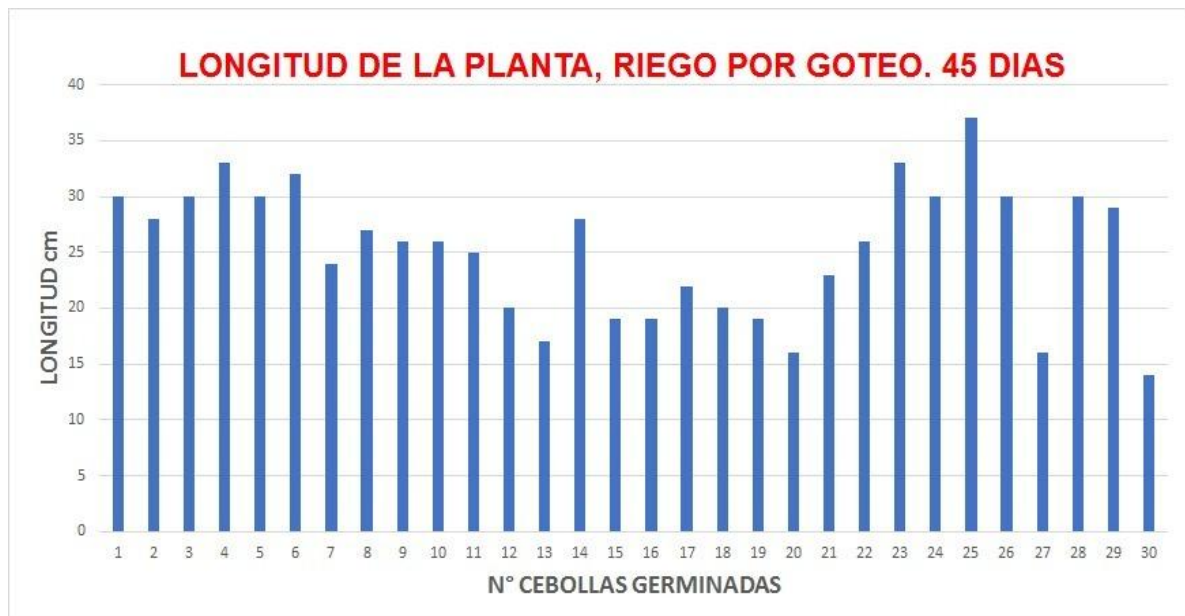
Al transcurrir dos semanas de la siembra de las cebollas en la parcela, se evidenció un crecimiento promedio de 11,9 cm de longitud, germinando un total de 30 unidades de 40 siembras. Cabe destacar que cada cebolla sembrada contaba con su respectivo emisor de agua, garantizando la humedad necesaria de la zona radicular de la planta a lo largo del tiempo de cultivo.



*Figura 33. Longitud de la planta, riego por goteo. Mes 1.*

*Fuente: Autores, 2020.*

Pasado un mes de siembra, la longitud promedio de las hojas fue de 17,93 cm. Con respecto a los riegos analizados anteriormente, el crecimiento fue mucho menor; también se pudo apreciar físicamente que las hojas tenían un aspecto más delgado y un crecimiento poco uniforme. (Ver anexo 5)



*Figura 34. Longitud de la planta, riego por goteo. 45 días.*

*Fuente: Autores, 2020.*

### **45 días post-siembra**

Durante este tiempo de cultivo, el crecimiento promedio aumentó 7,37 cm, longitud en la cual no se alcanzaba a notar el bulbo. Al igual que a los riegos anteriormente analizados, se efectuó el control de maleza, impidiendo de esta forma la propagación de la misma.

### **Dos meses post-siembra**

A lo largo de estos meses, se pudo notar que el crecimiento de la cebolla no fue uniforme, habiendo 12 siembras por debajo de la media y en el resto de las plantaciones se manifestó la presencia mínima del bulbo en la superficie.

### **Dos meses y 15 días post-siembra**

Pasados 75 días de la siembra, se evidenció un aumento en el desarrollo de las plantas con menor crecimiento. Los bulbos al igual que los tallos de las cebollas se

observaron de mayor tamaño y grosor. También se notó que siete de ellas empezaron a doblarse.

### Tres meses post-siembra

Transcurridos los tres meses, se logró ver que solo el 65% de las plantaciones estaban parcialmente listas para realizar la debida cosecha. También se observó que el bulbo en este tipo de riego, tuvo un menor desarrollo en comparación con los otros implementados. El 35% de menor evolución en su tamaño, no pudo ser extraído debido a la dimensión del bulbo, por lo tanto, se extendió una semana el tiempo de su cosecha.

#### 7.3.4.4 Control de los riegos durante el tiempo de cultivo

**CONTROL DE RIEGO PARA EL MES DE JULIO**

DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

DIAS REGADOS	
DIAS DE LLUVIA	

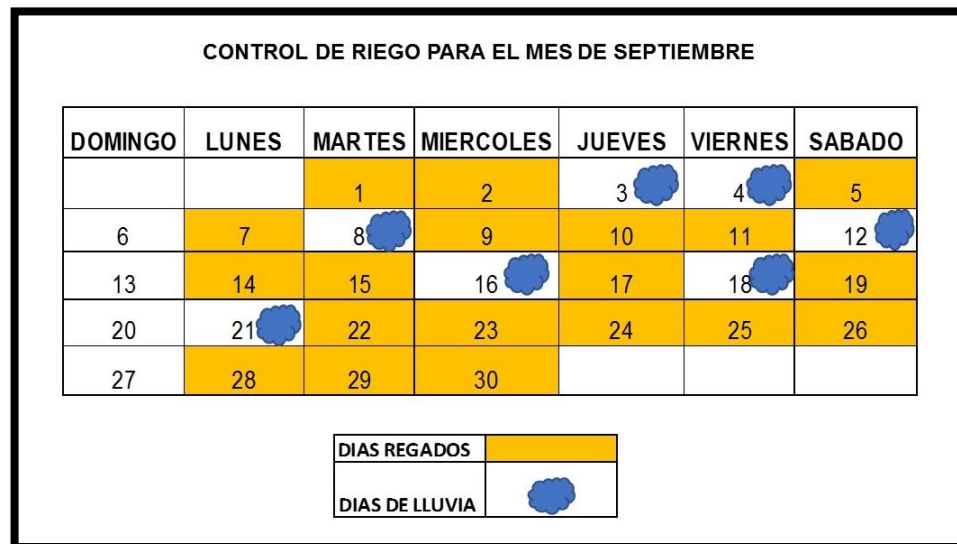
Figura 35. Control de riego para el mes de julio.

Fuente: Autores, 2020.



*Figura 36. Control de riego para el mes de agosto.*

*Fuente: Autores, 2020.*



*Figura 37. Control de riego para el mes de septiembre.*

*Fuente: Autores, 2020.*

## 7.4 ELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE AHORRO DE AGUA MEDIANTE LOS SISTEMAS DE RIEGOS EMPLEADOS

### 7.4.1 Análisis y evaluación de alternativas

Para el análisis y evaluación de la mejor alternativa, se tuvo en cuenta el parámetro de cantidad de agua utilizada; en primer lugar, por la importancia que esta tiene para el crecimiento de la cebolla y, por otro lado, para garantizar la sostenibilidad y el uso eficiente del recurso hídrico en la finca.

El otro parámetro que se estudió, fue el de producción final para cada riego, donde se consideró la cantidad y calidad de cada cebolla producida en el tipo de riego ejecutado.

#### 7.4.1.1 Consumo de Agua

A continuación, se muestra la cantidad de agua aplicada a cada tipo de riego, teniendo en cuenta que, en tres meses, la totalidad de días no regados fue de 21 por causa de lluvias presentadas.

*Tabla 17. Cantidad de agua aplicada a cada parcela.*

TIPO DE RIEGO	AGUA REQUERIDA L/día	DÍAS DE RIEGO	CANT. DE AGUA APLICADA (L)
SURCOS	476,28	69	32863,32
ASPERSIÓN	183,02	69	12628,38
GOTEO	131,22	69	9054,18

*Fuente: Autores, 2020.*

Comparando las cantidades de agua aplicadas a cada cultivo, se puede evidenciar que el riego por surcos tuvo un consumo de 32.863,32 litros de agua, siendo este el mayor con respecto al de aspersión y goteo. Dicho valor se debe al alto requerimiento del líquido para el funcionamiento correcto de este riego.

#### 7.4.1.2 Producción final de los cultivos

La cosecha es la fase del cultivo en donde el agricultor recolecta el producto final, en este momento se ve reflejado el tiempo invertido, generando satisfacción por los frutos obtenidos en cada una de las siembras; teniendo en cuenta lo anterior, la cantidad es un factor muy importante para la economía del trabajador, debido a que, a mayor producción, mayores ingresos serán generados.

A continuación, se muestran los resultados de la cosecha que se obtuvo en cada uno de los distritos de riegos empleados:

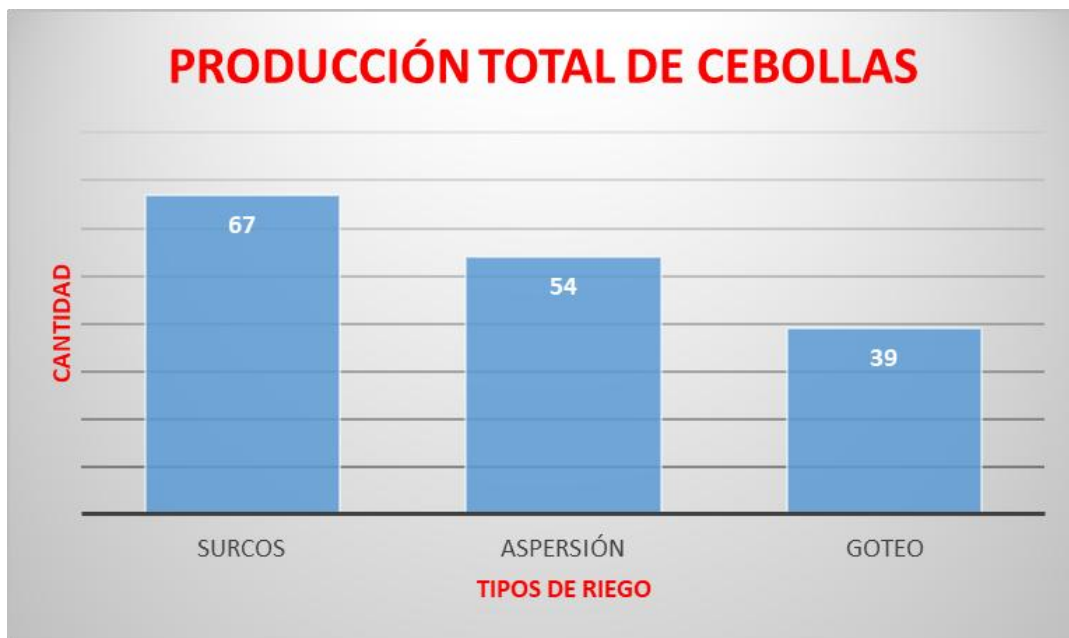


Figura 38. Producción total de cebollas.

Fuente: Autores, 2020.

La figura anterior muestra que la mayor producción fue en el riego por surcos, habiendo un 19,4 % de mayor producción con respecto al riego por aspersión. También indica que la menor producción se obtuvo en el riego por goteo siendo 27,7% menor que el riego por aspersión.

### 7.4.1.3 Calidad de la cosecha

Una buena calidad de un cultivo agrupa varios factores, como la elección correcta del terreno, la fertilidad del suelo, seguimientos fitosanitarios, cantidad de agua necesaria, entre otros, con el fin de obtener productos con buenas características físicas y de alta calidad.

Por consiguiente, se realizaron observaciones detalladas de la cosecha, para esto se tuvo en cuenta la medida de los diámetros de cada una de las cebollas recolectadas como lo muestra la siguiente gráfica

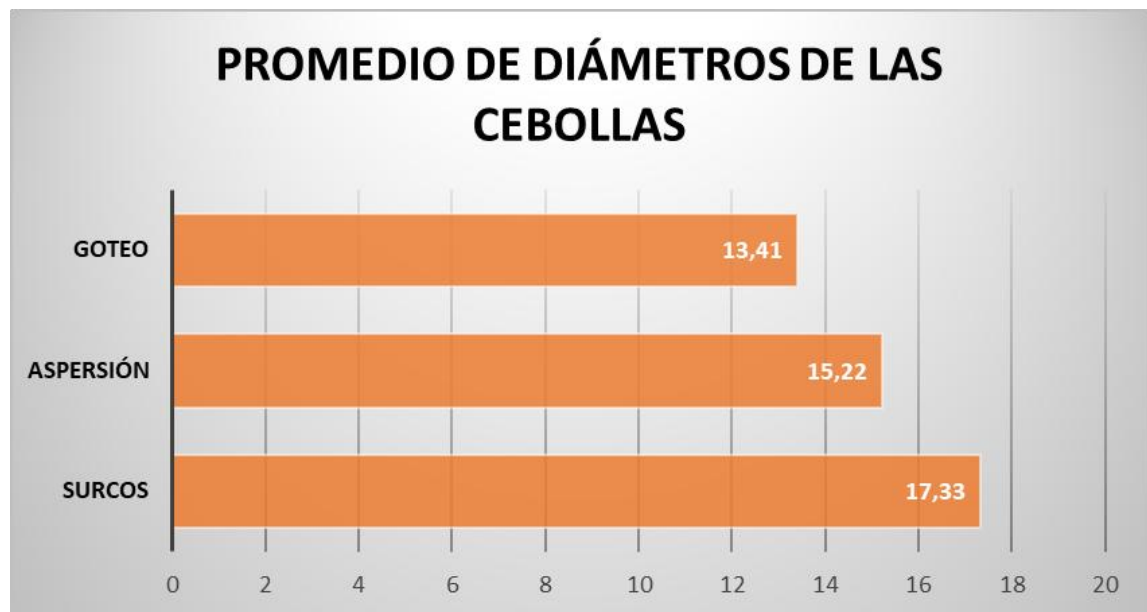


Figura 39. Promedio de diámetros de las cebollas.

Fuente: Autores, 2020.

Analizando la gráfica del promedio de diámetros de los distintos riegos, se pudo concluir que las cebollas de mayor dimensión fueron las de surcos, predominando nuevamente este tipo de riego frente a los demás implementados.

#### **7.4.2 Elección de la mejor alternativa**

La elección de la mejor alternativa para el tipo de riego más eficiente, tuvo en consideración tres factores importantes, como lo fueron:

- Demanda de agua utilizada para cada tipo de riego.
- Producción total de cada parcela.
- Tamaño y calidad del producto final.

Siendo 5,4 metros cuadrados el área utilizada para la implementación de los tres tipos de riego, se pudo inferir que:

- ✓ En cuanto a la demanda del recurso hídrico, el riego que consumió menor cantidad de agua fue el de goteo, gastando 9054,18 litros, con la particularidad de que solo el 65% de las plantaciones estaban listas para ser cosechadas en el tiempo estipulado. En este cultivo, hubo una producción total de 39 unidades de 40 cebollas sembradas inicialmente, estas, con un promedio de 13,41 cm de diámetro.
- ✓ En el caso del riego por aspersion, se evidenció que tuvo un gasto de agua un poco mayor comparado con el de goteo, donde se consumieron 12.628,38 litros del líquido, con la característica de que con este se logró una producción de 54 cebollas, de 40 siembras efectuadas, obteniendo un diámetro promedio de 15,22 cm.
- ✓ Respectivamente, el riego por surcos fue el de mayor consumo y demanda de agua con respecto a los demás tipos de riego implementados, donde hubo un gasto total de 32.863,32 litros, razón por la cual se adquirió una producción de 67 unidades y 17,33 cm en promedios de diámetros, siendo estos los mayores en comparación con los demás. A pesar de que se logró la mayor cantidad de cosecha en este tipo de riego, no puede ser la mejor

alternativa, debido a que la finalidad es hacer un uso eficiente del recurso hídrico.

Por lo anterior, la mejor alternativa de riego en cuanto al uso eficiente del agua y producción es el riego por aspersión, por lo que su consumo de agua es moderado y la producción es aceptable.

## **8. CONCLUSIONES.**

Teniendo en cuenta la importancia del agua en la agricultura y para el diario vivir del ser humano, se hace indispensable su aprovechamiento, para esto, es necesaria una buena gestión del recurso hídrico unido a un uso adecuado del suelo, asegurando mejor producción y economía para el productor.

Según lo anterior, al finalizar esta investigación, se puede concluir que:

- Se logró identificar diferentes impactos que tiene el recurso hídrico en la zona de estudio, para esto se tuvieron en cuenta los balances hídricos anuales analizados, en donde se presentaron pocas precipitaciones, ocasionando altos índices de escasez de agua o déficit durante los 5 años estudiados, con un promedio general de 943,98 mm anuales, razón por la cual, los caudales de los afloramientos naturales han sido mínimos durante la mayor parte del tiempo.
- Por otro lado, se realizó la optimización del sistema de captación, mejorando el caudal que recibía la finca anteriormente, el cual era de 0,204 L/s presentando pérdidas de 0,066 L/s durante la etapa de captación y conducción; al corregir esto, se vio un aumento significativo en el caudal de llegada, siendo de 0,295 L/s. Asimismo se contribuyó con la conservación del lugar de captación, evitando cualquier tipo de cimentaciones que posteriormente pusieran en riesgo la calidad y cantidad de líquido producido en la fuente.
- En cuanto a la distribución de agua, se implementó un tanque de almacenamiento de 500 litros para efectuar los diferentes tipos de riegos implementados, siendo esta, una buena estrategia para evitar las intermitencias del líquido al momento de realizar los riegos.

- Por último, después de haber estudiado y analizado el comportamiento del agua en el riego por surcos, aspersión y goteo para el cultivo de cebolla, se estableció que el modelo más conveniente en cuanto a la demanda de recurso hídrico, producción, tamaño y calidad del producto fue el riego por aspersión, obteniendo resultados de 12.628,38 litros de consumo en tres meses de ejecución, 54 unidades de cebolla, las cuales tuvieron un promedio de 15,22 cm de diámetro, influyendo esto en la calidad de las mismas.

## **9. RECOMENDACIONES**

Con base en los resultados obtenidos, es pertinente tener presente la época para efectuar el cultivo de cebolla, siendo recomendable planear las siembras durante los meses de mayor precipitación, los cuales de acuerdo a los estudios de balance hídrico realizados fueron agosto, septiembre y octubre y no en meses críticos en donde el caudal del afluente sea mínimo.

En cuanto a la captación realizada, es oportuno destacar que el manantial del cual se abastece la finca es de tipo difuso, donde el agua aflora naturalmente de diferentes puntos, por tanto, deben evitarse cimentaciones o alteraciones ambientales, las cuales pondrían en riesgo la existencia y calidad del mismo.

Por otro lado, si el agricultor desea cultivar en mayor área, es decir, en hectáreas, se le recomienda implementar el tipo de riego por aspersión, debido a que su implementación, en comparación con los demás, sería la mejor alternativa en cuanto a consumo eficiente del recurso hídrico, y mejor producción a bajo costo.

## **10. BIBLIOGRAFÍA**

Agüero, R. (2004). Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales.

Cardozo Pérez y Díaz Martínez. (2014). Diseño de un Sistema de Riego por Aspersión La Finca El Cedro Ubicada En El Municipio De Aquitania.

CMMAD, (1987) Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nuestro futuro común. Pág 23.

Cuesta, M. (2009). Introducción al muestreo. Universidad de Ovideo.

Fuentes, J. 2003 Técnicas de Riego, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi Prensa, Madrid España

Pulido González, C. (2017). Diseño del Programa de Uso Eficiente y Ahorro Del Agua en La Finca Jardines De Colombia De La Empresa The Elite Flower.

Saud Toledo, J. (2012). Diseño de un sistema de riego por goteo para cultivos en zonas con escasas de agua.

Toro, B. (2018). Diseño de un sistema de riego por goteo para parcelas de uva en la Hacienda Agrindzap, ubicada en el cantón Zapotillo, provincia de Loja.

## 11. WEBGRAFÍA

Centro virtual de información del agua. (2017) Tomado de <https://agua.org.mx/ques/>

CONGOPE. (2004). Hablemos de Riego. Recuperado de <http://www.congope.gob.ec/wpcontent/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>

Cultivo de cebolla. Agromática. (2010) Recuperado de <https://www.agromatica.es/cultivo-de-la-cebolla/>

Decreto 1449. Ministerio de agricultura de la República de Colombia, junio 27 de 1977. Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Decreto\\_1449\\_de\\_1977.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Decreto_1449_de_1977.pdf)

FUNDACIÓN AQUAE (s.f.): <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/datos-del-agua/los-manantiales-los-pozos/> Fundación Aquae [Visita: 17.05.2018]

GEOENCICLOPEDIA (s.f.): <http://www.geoenciclopedia.com/manantiales/>

Ministerio de Ambiente. Uso y aprovechamiento del agua. Tomado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda/uso-y-aprovechamiento-del-agua>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Título B Sistema de acueductos. (2012)

Pérez Porto, J y Gardey, A. Publicado: (2016). Definición de captación (<https://definicion.de/captacion/>)

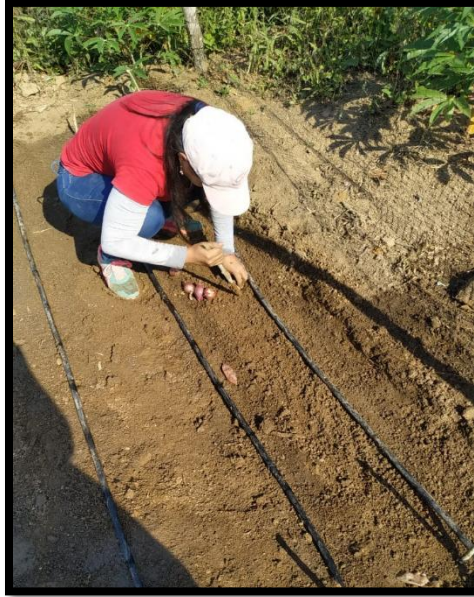
Planeta Azul. Distribución del agua en nuestro Planeta Azul. (2016) Tomado de <http://comunidadplanetaazul.com/agua/aprende-mas-acerca-del-agua/distribucion-del-agua-en-nuestro-planeta-azul/>

Pradillo, B. (2016). El agua. Tomado de <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>.

Tipos de riegos. (2016). Blog Verde. Recuperado de <https://elblogverde.com/tipos-riego/>

## 12. ANEXOS

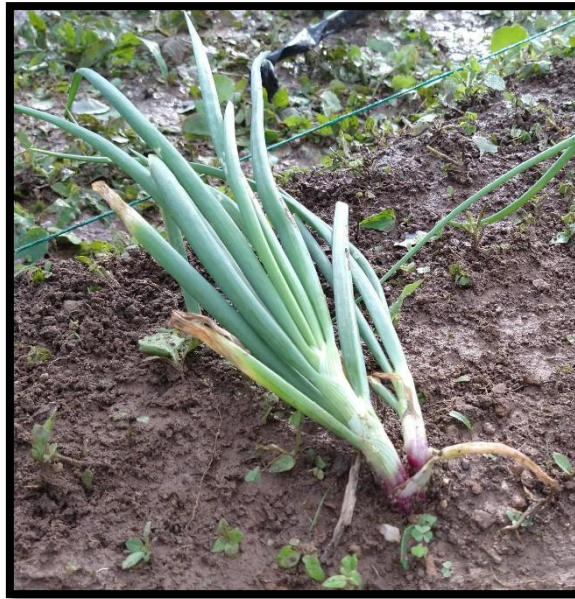
### Anexo 1. Siembra de la cebolla en la parcela de goteo



### Anexo 2. Adecuación del terreno para riego por surcos



**Anexo 3. Cebolla correspondiente al riego por aspersión aproximándose a la cosecha**



**Anexo 4. Medida de diámetro**



**Anexo 5. Riego por goteo, 1 mes**



**Anexo 6. Riego por surcos, 45 días**



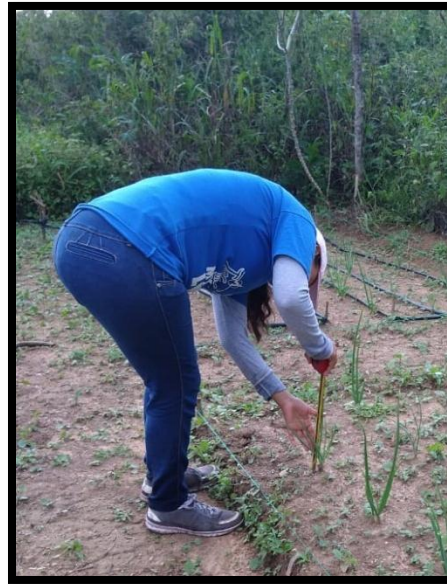
**Anexo 7. Tanque de almacenamiento 500 litros**



**Anexo 8. Medición de longitudes, riego por surcos**



**Anexo 9. Medición de longitudes, riego por aspersión.**



**Anexo 10. Tanque de captación optimizado**

