

**Diseño de un sistema de riego por microaspersión en un cultivo de cebolla junca  
(Allium Fistulosum L.) en el municipio de Tona, Santander**

Oscar Javier Rojas Rueda

Trabajo de Grado para optar el Título de Tecnólogo en Producción Agrícola

Director

Elder Jorge Cortes Moyano

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Tecnología en Producción Agrícola

2024

## Resumen

En el mundo, el uso del agua se encuentra distribuido en 3 grandes sectores, el agrícola que consume el 69%, el industrial que consume el 23% y el uso directo para humanos con el 8%. Estos porcentajes varían mucho de una región a otra, dependiendo de la precipitación natural y el desarrollo de la zona (Faures, 1996). En Colombia la demanda hídrica del sector agrícola es del 56 % del total del país. Adicionalmente los sistemas de riego empleados solo aprovechan un 45% del agua suministrada al cultivo. La presente investigación es de carácter cualitativo, en la cual, por medio de revisión bibliográfica se plasman las principales características de diseño de un sistema de riego por micro aspersión para un cultivo de cebolla junca, entre ellas un balance hídrico de acuerdo a las variables agro climatológicas disponibles en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – Ideam, para la zona del corregimiento de Berlin en el municipio de Tona, departamento de Santander, así como la infraestructura y costos asociados para su implementación. Lo anterior enfocado en un riego de acuerdo a las necesidades hídricas de la planta y evitando el uso innecesario de agua durante el riego.

***Palabras claves:*** Producción hortícola, Técnicas de riego, Control de recursos hídricos

### **Abstract**

In the world, the use of water is distributed in 3 large sectors, the agricultural one that consumes 69%, the industrial one that consumes 23% and the direct use for humans with 8%. These percentages vary greatly from one region to another, depending on the natural precipitation and the development of the area (Faures, 1996). In Colombia, the water demand of the agricultural sector is 56% of the country's total. Additionally, the irrigation systems used only take advantage of 45% of the water supplied to the crop. The present investigation is of a qualitative nature, in which, through a bibliographic review, the main design characteristics of a micro-sprinkler irrigation system for a rush onion crop are reflected, among them a water balance according to the agro variables climatological data available at the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies of Colombia - Ideam, for the area of the district of Berlin in the municipality of Tona, department of Santander, as well as the infrastructure and associated costs for its implementation. The foregoing focused on irrigation according to the water needs of the plant and avoiding the unnecessary use of water during irrigation.

***Keywords:*** Horticultural production, Irrigation techniques, Water resources control

## Tabla de Contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Introducción .....	10
Descripción del Problema.....	11
Justificación .....	13
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco Referencial.....	16
Marco Normativo.....	16
Marco Teórico .....	17
La Cebolla de Rama o Cebolla Junca ( <i>Allium Fistulosum</i> L.).....	17
Clasificación Taxonómica .....	17
Características Morfológicas .....	18
Requerimientos Climáticos y de Suelo.....	19
Requerimiento Hídrico.....	21
Sistema de Riego para Cultivos de Cebolla de Rama o Cebolla Junca ( <i>Allium fistulosum</i> L.).....	22
Niveles de Humedad del Suelo .....	23
Umbral de riego .....	26
Infiltración Básica del Suelo .....	27
Necesidades Hídricas de los Cultivos .....	27
Determinación de la Evapotranspiración de Cultivo .....	27
Evapotranspiración Máxima de Cultivo (ETC) .....	27
Evapotranspiración de Referencia (ETo).....	28
Coeficiente de Cultivo (Kc).....	28
Ecuación de Hargreaves para Estimar la ETo .....	29
Actividad de Riego, Fundamentos y Sistemas.....	29
Radiación Solar .....	29
Temperatura.....	30
Precipitación.....	30
Humedad Relativa .....	32
El Viento.....	33

Elementos del clima aplicados al Riego en la agricultura .....	33
Propiedades físicas de suelos .....	34
Granulometría y Textura .....	35
Fundamento Técnico Para Planificación Del Riego .....	39
La Velocidad de Infiltración de Agua en el Suelo .....	39
La Capacidad de Retención de Agua Disponible para las Plantas (CRAD) .....	40
Las Características del Flujo del Agua en el Suelo .....	41
Necesidad de Agua de los Cultivos .....	43
Clasificación de los Sistemas de Riego Ventajas y Desventajas .....	44
Diseño Hidráulico .....	48
Diseño Agronómico .....	48
Datos Requeridos para la Determinación del Régimen de Riego .....	48
Metodología .....	49
Tipo de Investigación .....	49
Método de Investigación .....	49
Diseño de un Sistema de Riego .....	50
Desarrollo del Trabajo .....	51
Generalidades del Proyecto .....	51
Ubicación del Proyecto .....	51
Factores Agros Climatológicos .....	52
Recopilación de Información Básica .....	53
Topografía .....	53
Superficie del Proyecto .....	53
Análisis Físicos del Suelo .....	54
Determinación Indirecta de la capacidad de Campo y del Punto de Marchitamiento .....	55
Disponibilidad del Agua .....	58
Estado del Cultivo .....	58
Diseño Agronómico .....	59
Requerimiento Hídrico de los Cultivos .....	59
Método de Blaney- Criddle .....	60
Determinación de los Parámetros del Riego .....	65
Intervalo Entre Riegos .....	65
Elección del Aspersor .....	67
Diseño Hidráulico .....	68

Numero de Ramales.....	68
Longitud Ramales .....	70
Número de Aspersores .....	71
Duración de Riego en Cada Posición.....	71
Diámetro Ramal.....	71
Perdida de Carga por Rozamiento en Ramal.....	72
Longitud de la Línea Porta Ramales.....	73
Diámetro Tubería Porta Ramales.....	74
Perdida de carga por rozamiento en porta ramal .....	74
Longitud de la Línea Principal.....	75
Diámetro Tubería Principal.....	75
De acuerdo a el diámetro mínimo calculado, se procede a seleccionar la manguera del Apéndice 9.....	76
Perdida de Carga por Rozamiento en Tubería Principal .....	76
Selección Equipo de Bombeo .....	77
Resultados .....	78
Características del Cultivo de la Cebolla Junca para el Diseño Agronómico .....	78
Variable Agroclimatológica del Lugar de Estudio .....	79
Aspectos Generales del Área de Trabajo.....	79
Demanda Hídrica del Cultivo de Acuerdo a Variables Agro-Climatológicas del Sitio.....	82
Diseño del Sistema de Riego por Micro Aspersión para el Cultivo de Cebolla Junca.....	82
Determinar la Infraestructura Requerida para la Implementación del Diseño de Riego por Micro Aspersión. ....	84
Conclusiones .....	86
Referencias Bibliográficas .....	87
Apéndices.....	90
Apéndice 1 .....	90
Apéndice 2 .....	92
Apéndice 3 .....	93
Apéndice 4 .....	95
Apéndice 5 .....	97
Apéndice 6 .....	99
Apéndice 7 .....	100
Apéndice 8.....	101

Apéndice 9.....	102
Apéndice 10 .....	103
Apéndice 11 .....	104

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Marco legal</i> .....	16
<b>Tabla 2</b> <i>Contexto taxonómico de la especie Allium Fistulosum L</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Características de cultivos transitorios (Cebolla en Rama)</i> .....	20
<b>Tabla 4</b> <i>Tamaño de partículas fracciones de granulometría</i> .....	35
<b>Tabla 5</b> <i>Valor velocidad de Infiltración</i> .....	40
<b>Tabla 6</b> <i>Factores Agro climatológicos</i> .....	52
<b>Tabla 7</b> <i>Resultados de muestra de Suelo</i> .....	55
<b>Tabla 8</b> <i>Propiedades físicas del suelo relacionadas con la retención de humedad</i> .....	58
<b>Tabla 9</b> <i>Temperaturas</i> .....	60
<b>Tabla 10</b> <i>Insolación</i> .....	61
<b>Tabla 11</b> <i>Meses del periodo vegetativo</i> .....	62
<b>Tabla 12</b> <i>Coefficiente del cultivo en etapas</i> .....	63
<b>Tabla 13</b> <i>Cálculos de la necesidad de agua de todo el periodo vegetativo</i> .....	64
<b>Tabla 14</b> <i>ETc</i> .....	66
<b>Tabla 15</b> <i>Necesidades diarias del cultivo</i> .....	66
<b>Tabla 16</b> <i>Intervalo entre riego</i> .....	67
<b>Tabla 17</b> <i>Dosis Total ajustada</i> .....	67
<b>Tabla 18</b> <i>Espaciamiento patrón rectangular</i> .....	69
<b>Tabla 19</b> <i>Duración de riego por horas</i> .....	71
<b>Tabla 20</b> <i>Características de la Cebolla Junca</i> .....	78
<b>Tabla 21</b> <i>Aspectos generales del área del proyecto</i> .....	79
<b>Tabla 22</b> <i>Características Agroclimáticas</i> .....	81
<b>Tabla 23</b> <i>Características suelo</i> .....	81
<b>Tabla 24</b> <i>Resultado Diseño Agronómico</i> .....	83
<b>Tabla 25</b> <i>Resultados Diseño Hidráulico</i> .....	83
<b>Tabla 26</b> <i>Características aspersores</i> .....	84
<b>Tabla 27</b> <i>Infraestructura requerida</i> .....	85

**Lista de figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Morfología de la cebolla en Rama</i> .....	19
<b>Figura 2</b> <i>Estado de humedad del Suelo</i> .....	24
<b>Figura 3</b> <i>Simil entre suelo y un Barril de agua</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Contenido de agua del suelo expresado en altura de lámina de agua</i> .....	42
<b>Figura 5</b> <i>Fases de la Metodología</i> .....	50
<b>Figura 6</b> <i>Ubicación Geográfica Vereda Ucatá de Tona Santander</i> .....	52
<b>Figura 7</b> <i>Cultivo objeto estudio</i> .....	53

## Introducción

La creciente demanda de alimentos y la preservación del recurso hídrico se han convertido en dos de los desafíos más apremiantes para la humanidad en la actualidad. La agricultura, desde sus inicios, ha sido el pilar que sustenta nuestra capacidad de respuesta ante la necesidad de alimentar a una población en constante crecimiento. Sin embargo, esta creciente demanda no solo requiere de un aumento en la producción agrícola, sino también de una gestión más eficiente de los recursos naturales, en particular, del agua.

En este contexto, la agricultura en Colombia juega un papel crucial, con el sector agrícola representando aproximadamente el 43.1% de la demanda hídrica total del país; según (*Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018*). A pesar de esta cifra significativa, los sistemas de riego utilizados en el país apenas poseen un bajo rendimiento, que se debe en gran parte a prácticas tradicionales basadas en la experiencia empírica de los agricultores, que a menudo resultan en un uso excesivo o insuficiente del recurso hídrico.

Este problema, documentado por Segura (2015), no solo disminuye los rendimientos de los cultivos, sino que también compromete la calidad de las cosechas y puede causar daños en las propiedades del suelo. En este sentido, el cultivo de cebolla en rama, con su alta demanda de agua y la susceptibilidad a enfermedades relacionadas con el exceso de humedad, se convierte en un caso de estudio particularmente relevante para abordar esta problemática.

La urgencia de mejorar las técnicas de irrigación empleadas en los cultivos colombianos es evidente, ya que estas prácticas no solo afectan la productividad agrícola, sino que también tienen un impacto directo en el consumo de agua y, por lo tanto, en la preservación de este recurso esencial.

## Descripción del Problema

Desde la aparición de la agricultura, el hombre ha generado diversos métodos para responder a la demanda alimenticia y contribuir con la seguridad alimentaria mundial. Ahora bien, el aumento de dicha demanda en la actualidad sucede con menos celeridad que en décadas anteriores, sin embargo, aun sin la exigencia de una expansión continua de tierras de labrantío, si es necesario la mejora de rendimiento basadas en nuevas variedades vegetales, sus necesidades y tecnologías recientes para la actividad agrícola, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, 2003). Por otro lado, el consumo responsable de agua es uno de los principales objetivos medioambientales a nivel mundial en la actualidad, dada la incertidumbre de la disponibilidad del recurso hídrico en el futuro. Una estimación del uso del agua a nivel mundial se compone de la siguiente manera, agua para irrigación y agricultura ocupa el primer lugar (69%), el segundo uso es la industria de consumo masivo (23%) y el tercero es para uso doméstico de los humanos (8%). Cabe resaltar que estos porcentajes varían mucho de una región a otra, dependiendo de la precipitación natural y el desarrollo de la zona (Faures, 1996).

En Colombia la demanda hídrica del sector agrícola es del 56 % de la demanda hídrica total del país. Adicionalmente los sistemas de riego empleados solo aprovechan un 45% del agua suministrada al cultivo. “En varias zonas del país, el riego se ha realizado tradicionalmente basado en la experiencia o criterio de los agricultores, en el que sobresale la tendencia a aplicar cantidades superiores a las necesarias o, por el contrario, regar de forma insuficiente. La imprecisión en el manejo del riego genera una disminución de los rendimientos, pérdida de calidad de las cosechas y en ocasiones, daños en las propiedades físico-químicas del suelo.” (Segura, 2015). A partir del estudio de segura y la problemática planteada, se debe abordar

desde la optimización de los métodos de riego utilizados en cultivos colombianos, por medio de la incorporación de tecnologías. Un caso específico es el cultivo de cebolla en rama, esta planta demanda cantidades importantes de agua, en relación a su tamaño, para sus procesos metabólicos reflejados en un buen desarrollo, crecimiento, producción y calidad del producto; se puede llegar a un consumo directo de una lámina de agua cercana a los 600 milímetros anuales o el equivalente a 6.000 metros cúbicos por hectárea al año. Por otra parte, el exceso de humedad favorece la ocurrencia de enfermedades ocasionadas por hongos o bacterias, que pueden llevar a la pudrición de la cebolla de rama, la cual es responsable de grandes pérdidas en el cultivo. (Pinzón, 2004). Dicho lo anterior una necesidad actual en materia de agroindustria se sitúa en mejorar las técnicas de irrigación mayormente usadas por los campesinos colombianos, ya que en ellas implican el mantenimiento de los cultivos y el consumo de agua.

## Justificación

Dentro de los grandes desafíos de la humanidad hoy en día, están la seguridad alimentaria y la preservación del recurso hídrico que cada vez se hace más escaso a partir de su relación oferta-demanda. Según el Estudio Nacional del Agua, ENA, 2018, el sector con mayor participación en el uso de agua 2016 fue el de la agricultura con el 43%. Ahora bien. El riego solo satisface aproximadamente el 10% del requerimiento hídrico – agrícola, y el resto del requerimiento de agua de los cultivos se suple con agua lluvia. Sin embargo, estos estudios no abordan la variación de este porcentaje frente a las temporadas de lluvia según datos históricos, lo que da fuerza a la necesidad de mejoras tecnológicas a los sistemas de riego actuales, de forma tal que su huella hídrica sea la estrictamente necesaria.

Por otro lado, las malas prácticas se dan no solo por negligencia de la entidad ambiental reguladora, sino también, por falta de conocimiento inherente a la realidad del campesino y falta de documentación de técnicas bajo esa misma realidad. Para el presente estudio, se tendrá en cuenta el escenario específico del cultivo de *cebolla junca*. En Colombia, gran parte de la producción de cebolla junca se realiza empleando metodologías de producción basadas en la experiencia de los labriegos; sin embargo, estos omiten técnicas y tecnologías que en la actualidad contribuyen en la mejora de la productividad, previniendo enfermedades en la planta y mitigando el impacto ambiental del cultivo de cebolla junca. Ahora bien, la técnica más actualizada que este sector agrícola utiliza hoy día, es el riego por aspersión, sin embargo, existe solida evidencia, a nivel global, sobre la optimización de esta técnica, que da paso a otra basada en la técnica de microaspersión.

El uso de técnicas de riego como la microaspersión basada en las necesidades hídricas de la planta, aporta el agua al cultivo de manera uniforme y más eficiente respecto al sistema de

riego por aspersión convencional, adicionalmente se reduce el caudal de agua aplicada y en los casos de los de sistema de bombeo, se reduce el consumo de energía eléctrica. Además, el sistema de riego por micro aspersión es un sistema fijo que reduce la intervención humana en el cultivo al momento del riego, evitando el maltrato de plantas al mover mangueras y aspersores. Dicho lo anterior una de las mejoras más oportunas en la actualidad en materia de agroindustria se sitúa sobre las técnicas de irrigación, ya que están estrechamente relacionadas con el mantenimiento de los cultivos y el consumo de agua. Finalmente, el propósito por el cual se realiza este estudio, es generar información que aporte soluciones tecnológicas a las problemáticas planteadas partiendo de necesidades reales en un cultivo de cebolla junca en la región, involucrando el contexto de los actores beneficiados.

## Objetivos

### Objetivo General

Diseñar un sistema de riego por micro aspersión para un cultivo de 5000 [m<sup>2</sup>] de cebolla junca (*Allium fistulosum* L.) en el corregimiento de Berlín en el municipio de Tona – Santander.

### Objetivos Específicos

Identificar las características de la especie de cebolla junca objeto de estudio en Tona, Santander

Recopilar información de las variables agro-climatológicas del lugar objeto de estudio.

Determinar la demanda hídrica del cultivo de acuerdo a variables agro-climatológicas del sitio.

Realizar el diseño del sistema de riego por microaspersión para el cultivo de cebolla junca.

Determinar la infraestructura requerida para la implementación del diseño de riego por microaspersión.

## Marco Referencial

### Marco Normativo

Durante la revisión e investigación se encontró alguna reglamentación específica y detallada referente a la implementación y regulación de los sistemas de riego, a continuación, algunas normas que involucran estos aspectos que se deben considerar para el desarrollo del proyecto de irrigación.

**Tabla 1**

*Marco legal*

Normas	Elemento
Decreto 2811 de 1974	Estableció el código de recursos naturales (Código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente, CNRN)
DECRETO 1090 DE 2018	Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones.
Resolución 00132 del 2021 Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural	Artículo 2: Manual de normas Técnicas para el sistema de riego y drenaje a nivel predial, servirá como guía para la elaboración de los estudios y diseño de los proyectos, cuyo componente de adecuación de tierras, se trate del establecimiento de sistema de riego, proyectos Integrales de Desarrollo Agropecuarios y Rural. Artículo 3: Agencia de Desarrollo rural – ADR o quien haga sus veces, realizar el seguimiento y garantizar el debido cumplimiento de lo dispuesto o el manual de Normas Técnicas para Sistema de Riego y drenaje a nivel Predial.

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Aquí se abordaron diferentes Puntos normativos Ambientales como guías para verificación de cumplimiento en cuanto a la captación de agua hídrica e implementación de infraestructura de riego en la zona.

## **Marco Teórico**

### ***La Cebolla de Rama o Cebolla Junca ( Allium Fistulosum L.)***

La cebolla de rama o cebolla junca, es el nombre común de un tipo de planta hortícola cuyo nombre científico es *Allium fistulosum L.* Durante muchos años fue el material de más renombre en el municipio de Aquitania y en las demás zonas de cultivo en el país, debido a su excelente macollamiento, llegando a producir mayor número de macollas que otros materiales. Su susceptibilidad a las enfermedades de la raíz y del tallo, como la pudrición, la quemazón y la mancha en la punta de las hojas la sacaron del mercado.

Hoy en día, según la Encuesta Nacional Agropecuaria, ENA 2014, Boyacá es el principal departamento productor con el 67,4 % de la producción total, seguido por los departamentos de Nariño, Risaralda y Santander.

A esta especie se le ha llamado tradicionalmente cebolla junca; sin embargo, este nombre se refiere a uno de los materiales regionales que más se ha utilizado para la siembra. Según Corpoica y Asohofrucol (2004), en Colombia no existen variedades mejoradas de cebolla de rama, por lo cual se siembran únicamente materiales regionales, entre los que se tienen la Junca, Monguana, Berlinera, Pastusa, Chava y Santa Isabel o R18.

### ***Clasificación Taxonómica***

Hanelt (1990), planteó la clasificación botánica de los *Allium*, género al que pertenecen especies de gran importancia, como la cebolla de bulbo, el ajo y el puerro, entre otras (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Según Hanelt (1990), el género *Allium* se

encuentra dividido en cinco subgéneros, de los cuales *Rhizirideum* y *Allium* contienen las plantas de mayor importancia comercial; bajo este esquema, la cebolla de rama se clasifica dentro del segundo de esos subgéneros y su especie es denominada *Allium fistulosum* L.

**Tabla 2**

*Contexto taxonómico de la especie Allium Fistulosum L*

Clasificación	Nombre
Clase	Monocotiledoneae
Superorden	Liliflorae
Orden	Asparagales
Familia	Alliaceae
Tribu	Alliae
Género	Allium
Especie	Fistulosum

### *Características Morfológicas*

La planta de cebolla de rama desarrolla de 2 a 6 brotes o ramificaciones de tamaño parecido que se cosechan en estado verde y constituyen el órgano de consumo de la especie. Estas macollas que constituyen un conjunto de gajos o vástagos, los cuales nacen de un mismo punto; de la planta, en general, se pueden diferenciar cuatro partes fundamentales, a saber: raíz, tallo, seudotallo y hojas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Sus hojas son simples, enteras, sésiles, cilíndricas, huecas, alargadas y generalmente de color verde oscuro.

**Figura 1***Morfología de la cebolla en Rama*

*Fuente.* Autoría Propia

Nota. Los gajos constituyen un conglomerado de capas envolventes

***Requerimientos Climáticos y de Suelo***

La cebolla junca se desarrolla bien desde las zonas cálidas hasta climas fríos, con temperaturas que van desde los 20 a los 10 grados centígrados, según la variedad, sin embargo, una mayor producción y calidad es obtenida en zonas, entre 1.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, es decir en temperaturas promedio de 11 a 20 grados centígrados.

Suelos de textura media franca (F) a franco-arcillosa (FAr), profundos, con buena retención de humedad y medio a alto contenido de materia orgánica, ligeramente ácidos a neutros con pH 6,2-7,3 y no salinos (Corpoica y Asohofrucol, 2004, y Corpoica, 2007).

**Tabla 3***Características de cultivos transitorios (Cebolla en Rama)*

Cultivo	Kci*	Kcm*	Kcf*	ti	td	Tm	tf	t total	Zr	p	Kc
				(días)	(días)	(días)	(días)	(días)	(m)	(%)	p
Cebolla	1.0	1.0	0.3	30.0	55.0	55.0	40.0	0180.	0.6	0.3	0.3
en rama								0			

Fuente: FAO, 2006; IDEAM, 2010.

(\*i: inicial. m: medio. f: final)

Donde:

- Kci\*: Coeficiente único de cultivo para la etapa inicial de crecimiento
- Kcm\*: Coeficiente único del cultivo para la etapa mediados de temporada
- Kcf\*: Coeficiente único de cultivo para el término de la etapa final de crecimiento
- ti (días): Tiempo inicial dado en días
- td (días): Tiempo de desarrollo dado en días
- tm (días): Tiempo medio dado en días
- tf (días): Tiempo final dado en días t total (días):
- Tiempo total dado en días
- Zr (m): Profundidad en las raíces dado en metros
- p (%): Precipitación
- Kc p: Factor del cultivo por fracción de agotamiento

Para establecer las exigencias de riego del cultivo se empleó el balance en el suelo; el agotamiento (Dr) es la medida de la disminución del agua previamente disponible en la zona

radicular del suelo y la variable principal del balance. El riego ( $I_i$ ) y la precipitación ( $P_i$ ) agregan agua a la zona radicular, restando agotamiento. La evapotranspiración del cultivo, por otro lado, aumenta el agotamiento al restar humedad del suelo (ENA. 2014).

Las pérdidas por exceso de precipitación se consideran como la sumatoria entre la Percolación Profunda (DP) y el Ecurrimiento superficial (RO). El agotamiento al final del periodo  $i$  ( $D_{ri}$ ) depende de la condición de humedad inicial ( $D_{r(i-1)}$ ), de la precipitación ocurrida en el período  $i$  ( $P_i$ ), del riego efectivo aplicado en el período  $i$  ( $I_i$ ) y de la evapotranspiración ocurrida en el período  $i$  ( $ET_{ai}$ )(ENA. 2014).

### ***Requerimiento Hídrico***

Uno de los principales factores es determinar el requerimiento hídrico que un cultivo necesita, determinar cuánto se debe regar y el tiempo de riego. La cantidad de agua que necesita los cultivos (Evapotranspiración) se logra determinar obteniendo los siguientes factores climáticos, suelo y su manejo.

- Temperatura
- Humedad relativa
- Viento
- Radiación
- Periodo de crecimiento del follaje
- El tamaño
- La edad
- Los niveles de producción
- La estructura
- Distribución de las raíces

- Disponibilidad de agua
- Capacidad de campo
- Punto de Marchites Permanente

El cultivo de la cebolla de rama demanda cantidades importantes de agua para sus procesos metabólicos, los cuales se ven reflejados en un buen desarrollo, crecimiento, producción y calidad del producto; se puede llegar a un consumo directo de una lámina de agua cercana a los 600 milímetros anuales o el equivalente a 6.000 metros cúbicos por hectárea al año. (Boletín mensual Insumos y factores asociados a la Producción Agropecuaria [BIFPA], 2015, P 7).

Considerando para este proyecto la selección de un sistema de riego, se tuvo en cuenta La distribución de las raíces debido a que esta cambia de acuerdo al sistema de riego que se utilice. En el caso de un sistema por Microaspersión las raíces crecen superficialmente de acuerdo con la pluviometría sobre el suelo y con el goteo se estimularía a concentrar las raíces dentro del bulbo de mojado (Muñoz, 1988)

### ***Sistema de Riego para Cultivos de Cebolla de Rama o Cebolla Junca (*Allium fistulosum* L)***

La cebolla de rama pertenece a una especie vegetal que para su desarrollo, producción constante y buena calidad demanda buenos volúmenes de agua, siendo necesaria la aplicación de riego complementario, especialmente durante las temporadas de menor precipitación o en épocas de verano, implementando un buen sistema de riego con todas las garantías de cantidad apropiada de agua, tiempo de riego y dándole un buen manejo del agua se verá reflejada en el crecimiento, calidad y producción de esta especie de Cebolla de rama.

Según Delgado (2017) el riego debe comenzar después de la plantación o resiembra, debido a que así lo demanda esta planta, además generalmente el riego se separa en dos partes,

uno es para la germinación y el segundo es para el desarrollo, el riego se debe de interrumpir entre 15 y 30 días antes de la recolección.

Por lo anterior, en la planeación del riego por microaspersión es importante evaluar correctamente la cantidad de agua a aplicar, el tiempo de descarga de acuerdo con el caudal de los aspersores y la periodicidad de aplicación, teniendo en cuenta la edad del cultivo, la retención de humedad y el agua disponible en el suelo, así como las condiciones climáticas relacionadas con la precipitación, los vientos, la radiación solar y la temperatura. Se debe considerar que el riego suplementario es indispensable durante las temporadas de menor cantidad de lluvias o durante las épocas de verano; de ninguna manera se debe planificar el riego por calendario, ya que se podría estar descargando gran cantidad de agua durante la temporada de lluvias, lo que ocasionaría estrés por encharcamiento de los suelos o por falta de agua durante los veranos (Corpoica, 2004 y Asohofrucol, 2013).

Para desarrollar un diseño de un sistema de riego se debe apreciar los meses con mayor demanda que nos garantice implementar una estrategia que logre reponer una lámina igual a la evapotranspiración, para esto se va a considerar el tipo de suelo, velocidad de infiltración y sobre todo la retención de humedad. Adicionalmente es importante conocer la Capacidad disponible de agua o humedad aprovechable de manera que permita determinar el Umbral de riego para el cultivo.

### ***Niveles de Humedad del Suelo***

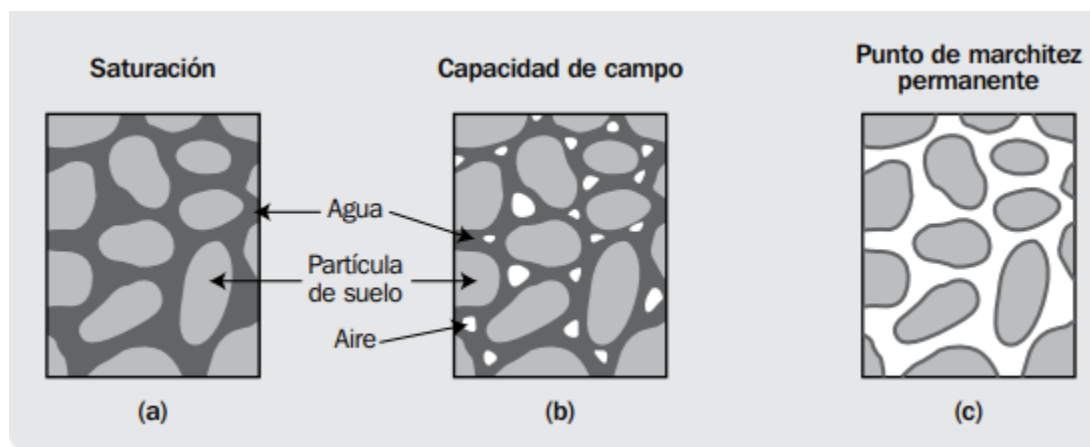
En función de la proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para las plantas, se definen los siguientes niveles de humedad:

**Saturación.** Tras una lluvia o un riego todos los poros se llenan de agua (ver Ilustración 2a). El contenido de humedad es el máximo posible en ese suelo. Una vez que la lluvia o el riego

han terminado, parte del agua presente en los poros se empezará a mover hacia abajo por gravedad. Este proceso se denomina drenaje o percolación, y suele durar entre • unas pocas horas en el caso de los suelos arenosos, y dos o tres días en el caso de los arcillosos.

## Figura 2

### *Estado de humedad del Suelo*



Fuente: Brouwer et al. (1985)

**Capacidad de Campo (CC).** Es el máximo nivel de humedad que el suelo puede retener, es decir, el contenido de humedad del suelo una vez que el drenaje ha terminado. En este estado de humedad los poros grandes contienen tanto aire como agua, mientras que los más pequeños están aún repletos de agua (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). A capacidad de campo, se considera que el contenido de humedad del suelo es el ideal para el crecimiento de los cultivos. Se expresa en porcentaje de volumen de agua. (FAO. 2007).

**Puntos de Marchitez Permanente (PMP).** Si el suelo no recibe nuevos aportes de agua, la evaporación desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya poco a poco. Cuanto más se seca el suelo, más firmemente es retenida el

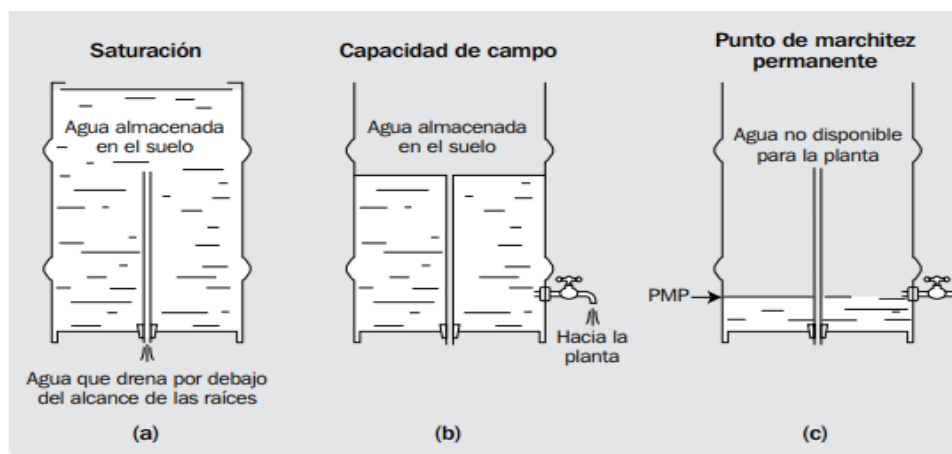
agua por el suelo, y más difícil resulta para las plantas extraerla. Llegará un momento en que la extracción del agua por parte de las plantas no es suficiente para cubrir sus necesidades y empiezan a marchitarse y finalmente mueren. El suelo aun contiene cierto nivel de humedad, pero resulta imposible para las raíces de las plantas succionar el agua que queda (ver Ilustración 2). (FAO. 2007)

La cantidad de agua almacenada en el suelo puede compararse con la cantidad de agua que puede extraerse de la llave de un barril lleno de agua y que consta también de un drenaje (similar a los rebalses de los tanques de agua)

Cuando el suelo está saturado, el barril está lleno, pero parte del agua drena rápidamente antes de que las plantas puedan utilizarla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.a**). Cuando el exceso de agua ha terminado de drenar (“se ha ido por el rebalse”), el suelo está a capacidad de campo. Las raíces de los cultivos extraerán agua de lo que queda en el “barril” (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.b**). Cuando se alcanza el punto de marchitez permanente, aunque el “barril” contiene aun cierta cantidad de agua, esta no está ya disponible para el cultivo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.c**).

### Figura 3

*Simil entre suelo y un Barril de agua*



*Fuente: Brouwer et al. (1985)*

#### ***Capacidad disponible de agua o humedad aprovechable (HA)***

Es la cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto Permanente de Marchitez. (FAO, 2016).

$$HA = CC - PMP$$

#### ***Umbral de riego***

Es un criterio de riego convencional que consiste en regar cada vez que se ha agotado un porcentaje de la humedad aprovechable del suelo (Uribe, 2020). Este criterio depende de condiciones climáticas, el tipo de suelo, y los niveles de humedad disponibles. Para garantizar un buen estado de la planta, no se debe permitir que el contenido de humedad del suelo esté por debajo del 50 % de la *Ha* (Huertas, 2020).

El contenido de agua en el suelo influye en su potencial o disponibilidad de agua para la planta, es decir a mayor contenido, menor esfuerzo de las raíces para absorber agua. Si el suelo

se seca, el potencial se vuelve negativo, dificultando la absorción. Esto afecta el crecimiento si no se mantiene la humedad suficiente cerca de la capacidad de campo.

### ***Infiltración Básica del Suelo***

La infiltración del agua en el suelo juega un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Dependiendo de las condiciones geológicas, puede permanecer en el suelo en su forma de humedad; escurrir como flujo superficial y aflorar como una naciente efímera; o recargar el acuífero, entre otros (Alvarado & Barahona, 2016).

### **Necesidades Hídricas de los Cultivos**

Está determinada por la evaporación desde el suelo y transpiración de la superficie foliar, que juntos reciben el nombre de evapotranspiración real o de cultivo (ETc). Existen muchos métodos para determinar el ETc en función de la evapotranspiración de referencia (ETo), siendo el método de la evaporación de la bandeja uno de los más usados por su bajo costo y fácil manejo (Ortega y Farías, 1997).

### ***Determinación de la Evapotranspiración de Cultivo***

La evapotranspiración (ET) de un cultivo será la suma del agua del suelo que es utilizada por las plantas en el proceso de transpiración, y la evaporación del agua del suelo que rodea a la planta.

### ***Evapotranspiración Máxima de Cultivo (ETC)***

Se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas (Allen, Pereira, Raes & Smith, 2006).

Para su determinación utilizaremos el método detallado en Doorenbos y Pruitt (1977), en el que la ETC se calcula mediante la fórmula:  $ETC \text{ (mm/d)} = ET_0 \times KC$

Donde:

$ET_0$  = Evapotranspiración de referencia en mm/d  $KC$  = Coeficiente de cultivo  
(adimensional)

### ***Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>0</sub>)***

La evapotranspiración de una superficie de referencia; es la que ocurre sin restricciones de agua, es llamada evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina  $ET_0$ . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Como el cultivo es siempre el mismo, será mayor o menor según sean las condiciones del clima (radiación solar, temperatura, humedad, vientos, etc.) y del entorno (Gómez, 2010)

Donde:

$ET_0$  = Evapotranspiración de referencia en mm/d

La determinación de  $ET_0$  se realiza a partir de datos climáticos, empleando fórmulas empíricas (Penman-FAO, Penman-Monteith, Hargreaves, Blaney-Criddle, método de radiación, etc)

### ***Coeficiente de Cultivo (K<sub>c</sub>)***

Describe las variaciones en la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo en cada etapa fenológica, desde la siembra hasta la cosecha. Y se utiliza para diferenciar la evapotranspiración de un cultivo dado de la evapotranspiración del pasto de referencia. Estas diferencias estarán debidas principalmente a:

- La diferente cobertura del suelo.

- La diferente superficie foliar.
- El diferente albedo (la reflexión de la radiación solar por la cobertura planta–suelo).
- La diferente altura del cultivo.

El factor KC también variará según lo hace la cantidad de agua que extrae del suelo a medida que se va desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

### ***Ecuación de Hargreaves para Estimar la ETo***

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la evapotranspiración potencial necesita los datos de temperatura y de radiación solar. La ETo se puede estimar usando la siguiente ecuación:

$$ETo = 0.0023 (Tmedia + 17,8) (Tmax - Tmin) 0,5Ra$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

Tmedia: Temperatura media °C.

Rs: Radiación solar incidente, convertida en mm/día.

La radiación solar incidente, Rs se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre. Ésta última es tabulada y para ello existen varias tablas, todas en función de la latitud y el mes.

## **Actividad de Riego, Fundamentos y Sistemas**

### ***Radiación Solar***

Es la forma de energía que el sol emite a la tierra, es de naturaleza electromagnética, de onda corta y se propaga en todas las direcciones a través del espacio. Esta energía es la responsable de diferentes procesos atmosféricos y biológicos, como la fotosíntesis, calentamiento del suelo, aire, evaporación y transpiración, y por tanto es el principal factor para la

determinación del microclima en un área geográfica, (Cely, 2012). Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología (IDEAM)

La radiación solar en la agricultura es importante tanto por su afectación directa sobre las plantas, ya que mediante la fotosíntesis se obtiene el rendimiento potencial de los cultivos, como por su afectación en la evaporación y el balance hídrico del suelo, el que, a su vez, define el suministro de agua en las plantas. En otras palabras, puede decirse que la radiación solar tiene incidencia en la tasa de crecimiento de las plantas, medida en tres factores principales, la cantidad e intensidad, el grado de interceptación por parte de la planta y su eficiencia como fuente de energía.

### ***Temperatura***

De manera general, el concepto de la temperatura se refiere a la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio media de las moléculas en un cuerpo físico, y, llevándolo al contexto climático, la temperatura ambiente es la temperatura del aire que rodea a un objeto dado. En adelante, la temperatura tiene una gran cantidad de clasificaciones, dependiendo del cuerpo físico o de la forma de medirla. Cuando existen pequeñas variaciones de radiación solar incidente en varios sitios, la temperatura ambiental influye directamente sobre la tasa de crecimiento foliar bajo condiciones óptimas de disponibilidad hídrica, pues afecta la tasa de división y expansión celular (Arcila y Chávez, 1995).

### ***Precipitación***

Se define como la cantidad de agua que llega al suelo en forma de lluvia, rocío, granizo o nieve; contabilizada durante  $i$  períodos, en la estación  $j$  durante una línea de tiempo determinada. Lo anterior sucede dentro del marco conceptual del fenómeno meteorológico por el cual el vapor

de agua atmosférico se condensa y llega al suelo en las formas ya mencionadas (IDEAM, Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales, 2005). Por otro lado, la precipitación se considera como la primera variable hidrológica y es la entrada natural de agua dentro del balance hídrico de los agros ecosistemas y de las cuencas hidrográficas.

Además de ser una entrada de agua, la lluvia ejerce sobre los terrenos influencia mecánica, puesto que arrastra sedimentos de la capa superficial del suelo, ejerce separación de las partículas y es el medio de transporte de nutrientes desde el suelo hacia la planta ya que actúa como disolvente de los mismos, sumados al nitrógeno amoniacal y nítrico presentes en la atmósfera. (Torres, 1995).

Conocimiento de la distribución de la precipitación permite mejorar la planificación, contar con un calendario agrícola, conocer la disponibilidad de agua o escasez de agua en una localidad

Conocer la distribución de la precipitación es una herramienta para efectuar estudios de zonificación climática e identificación de zonas de vida. También permite mejorar la planificación, contar con un calendario agrícola, conocer la disponibilidad de agua o escasez de agua en una localidad, por ejemplo, en las regiones tropicales como Colombia, en donde la radiación y la temperatura no presentan grandes variaciones a lo largo del año; el comportamiento y estacionalidad de la agricultura y la vegetación a una misma altitud están directamente relacionados con la disponibilidad del agua en el suelo proveniente de las lluvias. En últimas es uno de los factores más variables e influyente en la toma de decisión sobre el manejo de un cultivo y todo su ecosistema productivo, siempre y cuando se considere la probabilidad de ocurrencia (Eldin, 1980).

### ***Humedad Relativa***

La humedad relativa es el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esta temperatura. En otras palabras, es una medida que permite saber qué tan húmedo o seco se encuentra el aire. Se expresa en unidades enteras correspondiendo el 0 (cero) a la sequedad absoluta y el 100% a la saturación.

Por su parte, el aire, como cualquier otro cuerpo está sujeto a la acción de la gravedad, tiene un peso, y ejerce, por lo tanto, una presión sobre la superficie terrestre. La magnitud de la presión producida por la composición de las moléculas de gas en el aire depende de la masa de las moléculas, la acción de la gravedad y la actividad dinámica de las moléculas. Dentro de la atmósfera, el agua se encuentra en tres fases; vapor de agua, pequeños cristales y gotas de agua en nubes. La cantidad de vapor de agua presente en el aire por unidad de masa o de volumen junto con su presión parcial, determina el grado de humedad en la atmósfera (Jaramillo, 1999).

El aire tiene como fuente de humedad la superficie de los océanos, donde se evapora el agua de manera constante, pero también contribuyen a su formación los lagos, ríos, glaciares, campos de nieve y la transpiración de las plantas (Moran y Morgan, 1991; Fuentes, 1989; Candel, 1971). La atmósfera no puede contener una cantidad ilimitada de vapor de agua, sino que llega un momento en que ya no puede contener más. Cuando llega ese momento se dice que la atmósfera está saturada (Fuentes, 1989). El punto de saturación de la atmósfera depende de la temperatura: cuanto más caliente está el aire, mayor cantidad de vapor de agua puede contener. Cuando el aire está saturado de vapor de agua y baja la temperatura, ocurre que el aire no puede contener todo el vapor de agua que contenía anteriormente; el exceso de vapor de agua pasa a formar pequeñas gotas de agua o cristales de hielo según sea la temperatura del aire (Fuentes, 1989).

### ***El Viento***

En su definición más básica, el viento es el movimiento de aire en la superficie terrestre, causado por el gradiente de presión atmosférica, el que a su vez se relaciona con el calentamiento diferencial de la superficie terrestre y la atmósfera; sucede que la radiación solar no se recibe con la misma intensidad en todas las zonas del planeta, lo que origina un calentamiento desigual de las masas de aire. Sin embargo, en general existe la tendencia a que cualquier desequilibrio presente a nivel de la atmósfera, tiende a equilibrarse de manera natural, por tanto, el desequilibrio creado por la diferencia de presión tiende a equilibrarse de una forma natural mediante el desplazamiento horizontal de aire de la zona de mayor presión a la de menor presión; resultado que se denomina como viento (Fuentes, 1989).

Al igual que la precipitación, el conocimiento de la variabilidad del viento tiene implicaciones amplias en la agricultura y en el manejo de los suelos, pues tienen incidencia en aspectos como; La remoción de CO<sub>2</sub>, Transferencia y/o remoción de vapor de agua, Transporte de insectos, polen y esporas de enfermedades, Cambios en la humedad atmosférica local, Aumento en las tasas de evapotranspiración, Pérdidas en las aplicaciones de agua en los sistemas de riego por aspersión, cambios térmicos en las primeras capas del suelo, Pérdidas de suelos por erosión eólica (Chang, 1971; Rosenberg, 1974; Llano, 1980).

### **Elementos del clima aplicados al Riego en la agricultura**

El clima es uno de los factores más importantes que determinan el volumen de las pérdidas de agua por evapotranspiración de los cultivos y, por lo tanto, de las necesidades de riego. La frecuencia de riego, está entonces, directamente relacionada con las condiciones climáticas. Así, temperatura alta y humedad relativa baja provocan una mayor demanda de agua por los cultivos, lo que se traduce en la necesidad de disminuir los intervalos entre eventos de

riego. Como el cultivo es siempre el mismo, será mayor o menor según sean las condiciones del clima (radiación solar, temperatura, humedad, vientos, etc.) y del entorno (Gómez, 2010).

La evapotranspiración anual de los cultivos variará en algunos climas de un año a otro, ya que depende de la radiación solar que llega a la superficie del suelo (la variación se estima en menos del 10%). En comparación, la evapotranspiración mensual presentará un nivel mayor de variación, debido a la presencia de estaciones secas y húmedas claramente diferenciadas en el mismo mes (la variación se estima en un 50%). Finalmente, la evapotranspiración diaria varía drásticamente, obteniéndose valores bajos en días lluviosos, húmedos, nublados y sin vientos. En cambio los valores altos se presentarán en los días soleados, secos y con fuertes vientos.

### ***Propiedades físicas de suelos***

Las propiedades físicas del suelo es todo aquello que puede inspeccionarse visualmente o por el tacto en el propio sitio, por ejemplo; el color, olor, textura, estructura, porosidad, perfiles, horizontes, temperatura, consistencia, contenido de humedad en el suelo y su capacidad de retención de agua disponible, las otras propiedades se determinada en un estudio más detallado en laboratorios, todas estas propiedades son fundamentales para determinar la fertilidad física del suelo y su fertilidad global, hay que considerar que las propiedades físicas del suelo es de suma importancia directa sobre la vegetación y los cultivos, para determinar así el espacio que está en disposición de las raíces y la relación entre aire- agua , estas propiedades son fundamentales para conocer el comportamiento del suelo. A continuación, daremos a conocer algunas propiedades físicas del suelo que se tendrá en consideración para el desarrollo de este proyecto y las cuales son la base fundamental para definir el sistema y el tiempo de riego.

### ***Granulometría y Textura***

Determina el tamaño y tipo de las partículas sólidas que componen el suelo, las cuales pueden ser minerales u orgánicas.

**Tabla 4**

*Tamaño de partículas fracciones de granulometría*

Fracción	Diámetro Aparente (Mm)
Elementos gruesos	>2mm
Tierra fina	<2mm
Arena	2-0,05
Arena muy gruesa	2-1
Arena Gruesa	1-0,5
Arena media	0,5-0,25
Arena muy fina	0,1-0,05
Limo	0,5-0,002
Limo grueso	0,5-0,02
Limo fino	0,02-0,002
Arcilla	<0,002

Fuente: Tomada de Fracciones granulometría según USDA

**Estructura.** Los diferentes tipos de estructura se definen dependiendo de la forma y ordenación de los agregados. Fuentes (1990).

- Granular: Son esferas imperfectas de un tamaño que oscila de 1 a 10mm grosor, las estructuras granulares suelen presentarse en horizonte  $A_1$  (Thompson y Troeh, 1988).
- Laminar: Los agregados tienen una forma aplanada, con una dimensión horizontal de mayor magnitud que la vertical. Suelen ir asociadas a los movimientos laterales de agua en el suelo y son más frecuentes en la superficie del suelo (Thompson y Troeh, 1988).

- Polidérrica: Los agregados de forma polidérrica poseen dimensiones horizontales y verticales próximamente del mismo tamaño y se distinguen porque los poliedros encajan entre sí según Ingelmo y Cuadrado (1986)
- Angular: se presenta los poliedros con ángulos agudos y caras aplanadas, frecuentes en el horizonte B

La importancia de la estructura del suelo tanto superficial como en el subsuelo es importante para el desarrollo de los cultivos

A nivel superficial es importante respecto a; la aireación, permeabilidad y su relación con la escorrentía, el grado de resistencia a la erosión y la formación de una cama de siembra adecuada para la germinación de las semillas en los cultivos. La estructura a nivel del subsuelo está en que la penetración de las raíces puede verse limitada por falta de oxígeno que impida su respiración, en el subsuelo, unido a la ausencia de macro porosidad impiden que el agua retenida en las capas superficiales pase a las capas más profundas, es por esto que el subsuelo conveniente será aquella que proporcione un número suficiente de poros grades para permitir una buena circulación del aire y del agua.

**Porosidad.** Es el Proceso que transforma la roca en suelo, mediante el ahuecado y disgregación del material por lo cual aparecen poros en la masa. Los efectos del cultivo sobre la porosidad radican de la siguiente forma, las labores de cultivo ahuecan el suelo temporalmente, pero con el tiempo el suelo cultivado se compacta, aumentando su densidad más que otros adyacentes del mismo tipo que no estén cultivados, lo que significa que el cultivo provoca una reducción de la materia orgánica, aumenta la compacidad debido al paso de maquinaria y expone el suelo al impacto directo de las gotas de lluvia. Por lo que se debe considerar en este proyecto que estos factores tienden a romper los agregados grandes y a reducir el tamaño de los poros.

Además, parte del material dispersado por las gotas de lluvia penetran en el perfil y obstruyen numerosos poros, disminuyendo la permeabilidad al aire y agua.

La distribución del espacio poroso en el suelo es esencial para equilibrar la infiltración, la retención de agua y la conductividad hidráulica. Los **macroporos** permiten la entrada rápida de agua, favoreciendo la recarga del perfil del suelo, mientras que los **microporos** retienen el agua disponible para las plantas. Una conectividad adecuada de estos poros garantiza el movimiento eficiente del agua y el aire en el suelo, mejorando las condiciones para el desarrollo radicular. La compactación o alteración de los poros, por actividades agrícolas o lluvias intensas, puede reducir la infiltración y la permeabilidad, afectando negativamente la productividad del suelo.

**Capacidad de infiltración.** Es la velocidad con que el agua entra en el suelo desde la superficie, influenciada por factores como textura, estructura, compactación y contenido de materia orgánica. Los suelos arenosos, con predominio de macroporos, presentan altas tasas de infiltración, mientras que los arcillosos, con microporos, tienen una infiltración más lenta. Prácticas como el uso de maquinaria pesada y la lluvia intensa compactan el suelo, disminuyendo la infiltración y aumentando la escorrentía y la erosión.

Esta propiedad es clave para garantizar que el agua llegue a la zona radicular, minimizando pérdidas y mejorando la eficiencia del riego. Incorporar materia orgánica y reducir la compactación son estrategias para mejorar la infiltración.

**Conductividad hidráulica.** Es la capacidad del suelo para transmitir agua a través de sus poros bajo la influencia de un gradiente hidráulico. Depende del nivel de saturación: en suelos saturados, los macroporos predominan, permitiendo un flujo rápido; en suelos no saturados, el agua se mueve más lentamente a través de los microporos debido a las fuerzas capilares. Factores como la textura, estructura, compactación y contenido de materia orgánica afectan este proceso.

Suele medirse en unidades de velocidad, como centímetros por segundo (cm/s), y es clave para el diseño de sistemas de riego y drenaje, así como para prever problemas de anegación o desecación.

**Tasa de drenaje.** Es la velocidad con la que el agua excedente, como la que no es retenida por el suelo tras alcanzar su capacidad de campo, se elimina a través de los poros hacia capas más profundas o sistemas de drenaje. Depende de propiedades como la textura del suelo, la conductividad hidráulica saturada y la estructura del perfil. Los suelos arenosos, con alta proporción de macroporos, tienen tasas de drenaje rápidas, mientras que los suelos arcillosos drenan más lentamente debido a sus microporos. Este parámetro es crítico para evitar anegamientos y optimizar el manejo de agua en sistemas de riego y drenaje agrícola

**Profundidad del suelo.** la profundidad hace referencia al grosor de las materias del suelo que suministra apoyo estructural, nutrientes y agua para las plantas, por esta razón los suelos profundos son más productivos que otros, similares, pero de menor espesor, por ejemplo, si se presenta una sequía, los vegetales soportan periodos largos cuando crecen en suelos dotados de mayor capacidad de retención de agua disponible (Thompson y Troeh, 1988).

**Consistencia.** Según fuentes (1990) la cohesión que mantiene unidas a las partículas formando agregados o tormos reciben el nombre de consistencia del suelo, lo que determina la resistencia que ofrece ese suelo a la penetración de las raíces y el mayor o menor esfuerzo que es necesario para trabajarlo.

**Color.** El color es una propiedad del suelo que intrínsecamente tiene apenas significados sobre el comportamiento del suelo, el color del suelo radica en permitir inducir otras propiedades y el color está relacionado con los minerales que lo componen y con su contenido de agua y materia orgánica.

**Temperatura del suelo.** La temperatura del suelo depende principalmente de la intensidad de radiación solar recibida, pero a su vez son varios factores que influyen en la temperatura del suelo por ejemplo; el ángulo de incidencia de los rayos solares, la cobertura del suelo, la nubosidad, el color del suelo, el contenido del agua del suelo y la profundidad. La importancia de la temperatura está en el efecto sobre diversos procesos 1) actividad microbiana; 2) la germinación de las semillas; y 3) el desarrollo y funcionamiento de las raíces.

## **Fundamento Técnico Para Planificación Del Riego**

### ***La Velocidad de Infiltración de Agua en el Suelo***

La velocidad de infiltración hace referencia al proceso mediante el cual el agua ingresa al suelo y se le denomina infiltración. Lo que significa que es la capacidad del suelo para absorber el agua mediante el riego en forma natural, mediante la lluvia. Tener claro este concepto permite determinar cuánta agua se debe aplicar al suelo, Por otro lado, la velocidad de infiltración del suelo es un factor fundamental en el diseño de los diferentes sistemas de irrigación, ya sean estos gravitacionales (surcos, melgas, etc.), a presión (aspersión, micro aspersión, goteo o exudación). De este factor depende el tiempo de riego y la planificación del predio en relación al riego, ya que de acuerdo a estas variaciones se establecen las unidades de riego, cada una de las cuales tendrá un diseño diferente en el campo.

- Movimiento del agua en el suelo:
- infiltración y distribución dentro del perfil
- Disponibilidad de agua para las plantas
- Propiedades mecánicas del suelo

La velocidad de infiltración indica la capacidad del suelo de absorber agua. Al principio (cuando el suelo está más seco) la velocidad de infiltración es más rápida, luego disminuye hasta que llega un momento en que se hace más o menos constante. En la (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se presentan los valores referenciales de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo.

**Tabla 5**

*Valor velocidad de Infiltración*

Arenoso	20-25
Franco Arenoso	15-20
Franco	10-15
Franco Arcilloso	8-10
Arcilloso	< 8

Fuente: Valores referenciales de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo (mm/ h)

***La Capacidad de Retención de Agua Disponible para las Plantas (CRAD)***

Es la cantidad de agua en un perfil de suelo que puede extraerse teóricamente por la plata, después de que ha drenado libremente por gravedad durante un periodo de tiempo, y ha sido definida por la diferencia en el contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de Marchitez o porcentaje de Marchitez permanente. El límite más alto de la CRAD se define como el contenido de agua en la zona inicialmente húmeda después del drenaje en una zona más seca, inicialmente por debajo se reduce a nivel despreciable. El límite más bajo de la CRAD es el contenido del agua al que las plantas crecen en un ambiente de baja demanda evaporativa, se marchitan permanentemente.

Se debe tener en cuenta que el concepto de CRAD y el concepto de disponibilidad de agua (Gardner, 1960) está relacionado pero no son los mismo, por lo que se aplica 3 factores principales.

- El tipo de planta, condición física, estado de madurez, distribución de la raíz, etc.
- El gradiente de potencial existente en la interface raíz – agua del suelo
- La conductividad hidráulica insaturada acerca de las porciones absorbentes de agua raíz

Estas diferencias pueden observarse, por ejemplo, en el punto de marchitez incipiente, donde la disponibilidad de agua (Gardner, 1960) para una planta particular se reduce hasta el punto en el que no sucede crecimiento pero la planta permanece viva, si la planta se coloca bajo condiciones de demanda evaporativa más baja, la disponibilidad de agua para la planta en este sistema suelo- planta incrementa y la planta de nuevo comienza a crecer.

A considerar:

- Si la planta se coloca bajo condiciones de demanda más alta, las raíces continúan absorbiendo agua, pero el grado de marchitez aumenta
- Si la planta es guardada en ambiente de demanda evaporativa alta, no podrá absorber toda el agua retenida por la CRAD porque la planta permanece marchita bajo condiciones de demanda evaporativa alta.

### ***Las Características del Flujo del Agua en el Suelo***

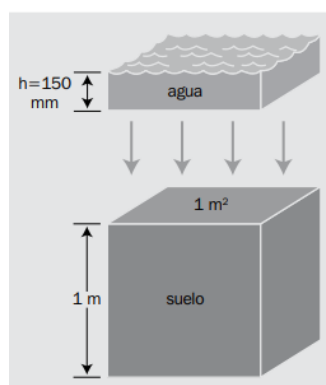
El contenido de agua en el suelo puede expresarse de tres maneras diferentes.

**En altura de lámina de agua.** El agua contenida en un volumen de suelo (el volumen total, el de las partículas del suelo más el de los poros) también puede expresarse en altura de lámina de agua. Supongamos una porción de suelo de 1 m<sup>2</sup> de superficie y 1 m de profundidad (un volumen de 1 m<sup>3</sup>). Si sacásemos el agua contenida en ese metro cúbico de suelo y lo

acumulásemos sobre la misma superficie, alcanzaría un flujo es laminar cuando las líneas de flujo permanecen sin juntarse entre su longitud, a bajas velocidades ocurre en forma laminar. Una altura  $h$ , como muestra la (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Si esta altura  $h$  fuera por ejemplo 150 mm, podríamos expresar el contenido en humedad de este suelo como 150 mm en 1 m de profundidad de suelo, o más abreviadamente 150 mm/m.

#### Figura 4

*Contenido de agua del suelo expresado en altura de lámina de agua*



*Fuente:* Brouwer et al. (1985)

**Humedad volumétrica (ev).** Podemos expresar el contenido de agua en el suelo relacionando el volumen de agua con el volumen total de suelo:

$$ev = V_a \times 100 V_t$$

**Humedad gravimétrica (eg).** Por último, podemos expresar la humedad del suelo como el peso de agua en relación con el peso de las partículas sólidas:

$$eg = P_a \times 100 P_s$$

La magnitud en profundidad del sistema de raíces, que es característica de cada especie:

Como se mencionó anteriormente para este proyecto se pretende la siembra de la cebolla de rama o cebolla junca (*Allium fistulosum* L) La raíz de la cebolla de rama es fibrosa y fasciculada;

alcanza una longitud que oscila entre los 20 y los 25 cm, mientras que en forma lateral puede extenderse 15 cm.

### ***Necesidad de Agua de los Cultivos.***

La necesidad de agua de riego (NR), pertenece a la cantidad de agua que debe ser aplicada a la unidad de riego en los niveles, los cultivos puedan absorberla con facilidad, de acuerdo a sus requerimientos, asegurando su penetración y almacenamiento en la zona radicular. En el caso de que el riego sea la única fuente de agua, la necesidad de agua de riego será, como mínimo, igual a la evapotranspiración y normalmente debe ser mayor, con el fin de suplir posibles pérdidas durante el riego, Por otra parte, si la planta está recibiendo parte del agua a través de otras fuentes, como la lluvia, agua almacenada en el suelo o de napas freáticas, la necesidad de riego puede considerarse menor que la de evapotranspiración.

La siguiente fórmula es utilizada para relacionar la evapotranspiración de un cultivo en un determinado período, se adapta excelentemente bien a cualquier método de riego ya sea por bordos, surcos, aspersión, goteo, microaspersión etc. lográndose siempre economía de agua, de mano de obra y buenos rendimientos.

El contenido de agua en el suelo puede expresarse de tres maneras diferentes:

- a) En altura de lámina de agua
- b) El agua contenida en un volumen de suelo (el volumen total, el de las partículas del suelo más el de los poros)
- c) En altura de lámina de agua. Supongamos una porción de suelo de 1 m<sup>2</sup> de superficie y 1 m de profundidad (un volumen de 1 m<sup>3</sup>).

Si sacásemos el agua contenida en ese metro cúbico de suelo y lo acumulásemos sobre la misma superficie, alcanzaría la cantidad de agua que fluye a través de la planta o circula por

unidad de superficie de cultivo depende de la oferta de agua del suelo, de las características estructurales y funcionales de la planta o el cultivo, y de las condiciones atmosféricas. Para determinar la cantidad de agua que necesita el cultivo para su crecimiento, se debe tener en cuenta el estado hídrico de la planta, este depende del balance entre el agua que la planta absorbe del suelo y la que pierde por transpiración.

El agua disponible para las plantas es, por lo tanto, el agua que se encuentra entre estos dos límites. La profundidad de las raíces que puede variar y los valores característicos de los límites para el agua disponible varían entre suelos.

### ***Clasificación de los Sistemas de Riego Ventajas y Desventajas***

Para la clasificación del sistema de riego se debe tener en consideración algunos criterios en el método de riego y el cultivo; suelo, topografía, clima, disponibilidad de mano de obra, economía, manejo del riego desarrollo físico y administración general de la zona, clasificar los sistemas de riego y determinar que método es idóneo para implementar en la zona de estudio se deben tomar decisiones respecto al planteamiento integral del área y grado de sistematización del terreno. Debido a que algunos cultivos pueden regarse por un solo método y otros por varios, el tipo de cultivo es el primer criterio a considerar.

Mahecha (2017), menciona que los sistemas de riego juegan un papel importante dentro de la producción agrícola por lo que es necesario conocer las ventajas y desventajas de estos sistemas.

- Cultivos
- Topografía
- Suelo
- Recurso de agua

- Costos
- Otros criterios

Los sistemas de riegos están clasificados de la siguiente manera:

**Riego por Aspersión.** Este método consiste en aplicar agua a la superficie del terreno, rociándola de forma de una lluvia óptima.

#### Ventajas

- Alta eficiencia de aplicación de agua y uniformidad en su penetración en el perfil del suelo
- Utilización en cualquier pendiente con peligro muy remoto y de erosión
- Utilidad en cualquier tipo de suelo
- Fácil control de la lámina de riego
- Reducción de costos en la preparación del suelo
- Aplicación con riego de fertilizante y pesticida líquidos o solubles
- Se economiza el uso de la mano de obra y la dependencia del regante es menor

#### Desventajas

- Elevado costo inicial
- El viento puede distorsionar la distribución del agua en el suelo
- Pérdidas de agua por evaporación
- Alto requerimiento de energía
- El sistema debe ser diseñado por especialista competente
- Factor de disminución del rendimiento de especies al causar caídas de las flores

**Riego sub-superficial.** Es un sistema de riego localizado de altas frecuencias, que por medio de un tubo flexible y poroso conduce y exuda agua en toda su longitud.

Ventajas

- Usos eficientes del agua de riego
- Humedecimiento óptimo del suelo
- Ferti-irrigación
- Economía
- Rendimientos incrementados
- Funcionamiento fácil

Desventajas

- Vulnerabilidad al manejo fuerte y a ciertos insectos del suelo
- Obturación de los micro poros
- Alta inversión inicial debido al alto costo del equipo

**Riego por Micro aspersión.** Este sistema de riego consiste en aplicar agua de forma de fina lluvia, mediante dispositivos que la distribuyen en un radio no superior a los 3 m sobre la superficie del suelo o el cultivo.

Ventajas

- Mayor uniformidad de riego, mejores factores hidráulicos y de fabricación de los emisores
- Es conveniente el lavado de las sales aplicando aguas de riego en exceso
- Mayor extensión del bulbo húmedo

Desventajas

- Mayor costo de inversión inicial que el goteo
- Debido a los altos caudales empleados en micro aspersión, los riegos son de corta duración
- La micro aspersión presenta una menor eficiencia de riego
- Son más vistosos, fáciles de desconectar y más caros que los goteros

**Riego por goteo:** Es un sistema de riego por goteo por medio del cual se aplica agua filtrada y soluciones fertilizantes, dentro o sobre el suelo directamente a cada planta en forma individual.

#### Ventajas

- Ofrece beneficios potenciales en el uso eficiente del agua
- El rendimiento de las plantas irrigadas por goteo es mayor que en otros sistemas de riego
- Mejor ambiente en las zonas de raíces, la aireación, nutrientes y humedad se mantienen en nivel óptimos
- Beneficios económicos

#### Desventajas

- Taponamientos de los goteros
- Riesgo de salinización del suelo
- Distribución de humedad
- Funcionamiento de alto nivel técnico

El riego es una medida para satisfacer las necesidades de humedad de la planta, cuando en forma natural no se logre un balance entre el agua disponible y la demanda. Por ende las necesidades de riego dependen del desequilibrio que existe entre el agua disponible en el suelo y

el agua que la planta consume. Esto sucede cuando la disponibilidad del agua es menor que el requerimiento de la planta.

### ***Diseño Hidráulico***

Con el diseño hidráulico se determina las dimensiones de todos los componentes de la instalación de riego, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus fases de desarrollo; otro objetivo es conseguir que la aplicación del agua en forma de lluvia sobre el suelo sea suficientemente uniforme. Con todo ello se podrán obtener buenas producciones con el menor gasto de agua.

### ***Diseño Agronómico***

El diseño agronómico del sistema de riego debe garantizar que la instalación sea capaz de suministrar, con una óptima eficiencia de aplicación, las necesidades hídricas del cultivo, principalmente en el periodo de máximo consumo, humedeciendo el volumen de suelo necesario para su desarrollo. En primer lugar, es preciso calcular las necesidades hídricas de los cultivos y luego, determinar cantidad ¿Cuánto?, frecuencia ¿Cuándo? Y tiempo de riego ¿Cómo? para cada uno de ellos (Ferrari y Aguado, 2018).

### ***Datos Requeridos para la Determinación del Régimen de Riego***

(Gutiérrez, 2010) indica que, para determinar el régimen de un cultivo, es decir: la lámina de riego, la dosis bruta y el intervalo de riego – se requieren datos iniciales sobre el clima, el cultivo, el suelo, la parcela, la fuente de agua y el sistema de riego.

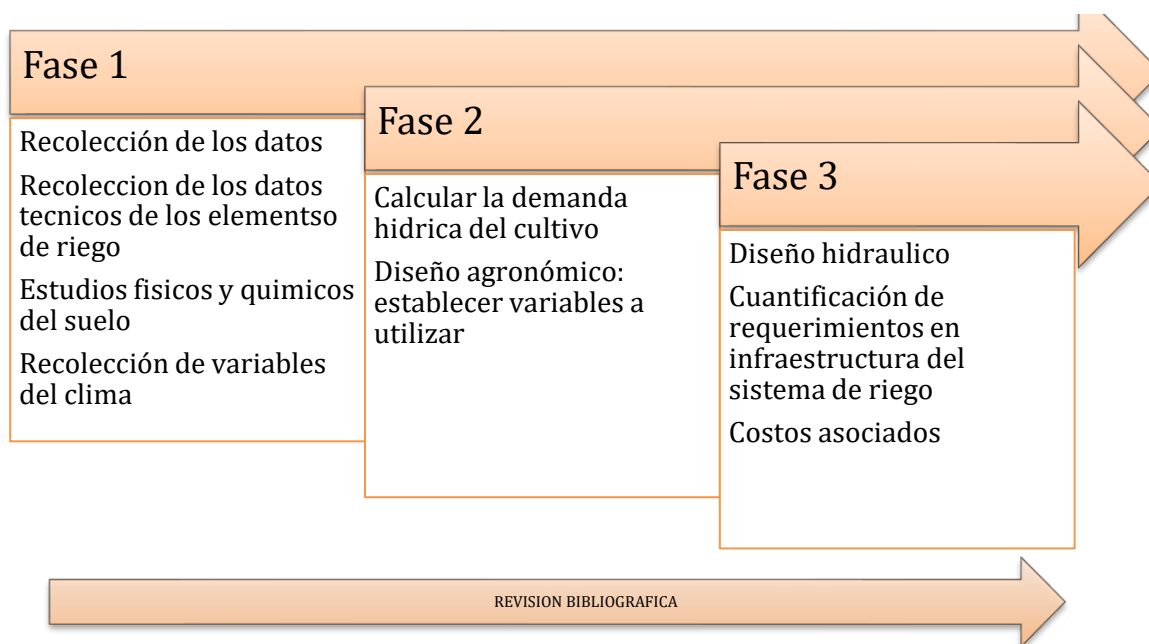
## Metodología

### Tipo de Investigación

La investigación que se realizó fue de tipo proyectiva, conocida también como proyecto factible, y consistió en la elaboración de una propuesta para la solución de un problema en este caso fue el *Diseño de Un Sistema de Riego Por Microaspersión en Un Cultivo de Cebolla Junca (Allium Fistulosum L.) en El Municipio de Tona, Santander.*

### Método de Investigación

Hipotético deductivo: este método nos obliga a combinar la formación de hipótesis y la deducción con la observación de la realidad que luego serán a su vez comprobadas experimentalmente para este caso se realizará en 3 fases subyacentes, la primera corresponde a la recolección de datos de fuentes secundarias referentes al uso de sistemas de riego por microaspersión, catálogos técnicos de elementos de riego e información de variables climáticas como temperatura ambiente, humedad relativa, La segunda es el uso de dichos datos para el cálculo de la demanda hídrica del cultivo y la tercera es la cuantificación de requerimientos en infraestructura del sistema de riego . Las tres fases descritas serán acompañadas por una fase paralela a ellas; la revisión bibliográfica y de esta manera poder diseñar el sistema de riego para el cultivo de Cebolla Junca.

**Figura 5***Fases de la Metodología***Diseño de un Sistema de Riego**

Para llevar a cabo el diseño del sistema de riego se utilizará la metodología propuesta por (Fuentes y García, 1999) quienes plantean que para diseñar un sistema de riego se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Recopilación de información básica.
  - Topografía
  - Superficie del Proyecto
  - Análisis físico del suelo
  - Disponibilidad del agua
  - Estado del cultivo
2. Diseño Hidráulico
3. Diseño Agronómico

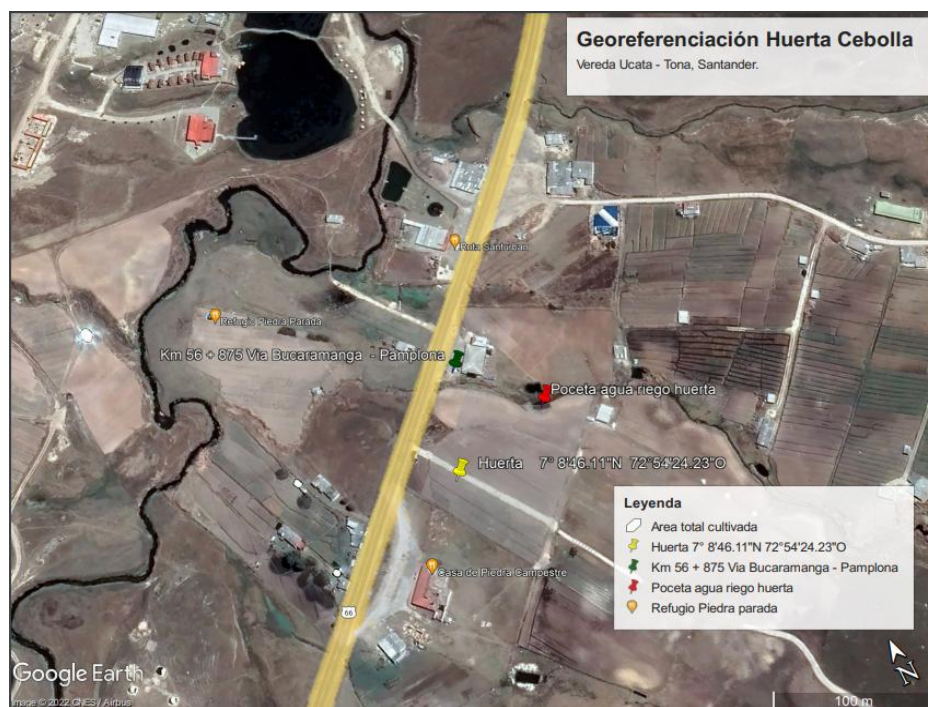
## Desarrollo del Trabajo

### Generalidades del Proyecto

#### *Ubicación del Proyecto*

La vereda Ucatá de Tona Santander se ubica en el Corregimiento de Berlín a 64 km de distancia de la cabecera municipal y a 63 km de Bucaramanga. El Corregimiento de Berlín destaca por estar ubicado en zona de paramo y pertenecer a la Unidad biogeográfica de Santurban. La principal actividad económica de dicho corregimiento está basada en la producción de cebolla en rama en una proporción de 20 toneladas diarias, la cual es enviada a Bucaramanga, Cúcuta, Pamplona y exportada en una pequeña parte a Venezuela. Alcaldía de Tona en Santander.

Latitud:	7°20'25.96"
Longitud:	72°96'59.96"
Altitud:	2.929 msnm
Área Total:	34200km <sup>2</sup>

**Figura 6***Ubicación Geográfica Vereda Ucatá de Tona Santander*

Fuente: Vista satelital en Google Earth

***Factores Agros Climatológicos*****Tabla 6***Factores Agro climatológicos*

Factores climáticos	Promedio
Temperatura Maxima promedio ( °C) anual	12 .5
temperatuma minima promedio anual (°c)	5
Humedad relativa Promedio anual (%)	78
Precitacion promedio media anual ( mm)	702,3
Brillo solar promedio anual	4,8

Fuente: IDEAN 2020

## **Recopilación de Información Básica**

### ***Topografía***

Para poder obtener el levantamiento topográfico que nos permitiera obtener el área del proyecto y sus características, fue necesario la utilización de la herramienta GPS donde se pudo obtener los datos (coordenadas UTM) una vez identificada el área se dispuso a crear un croquis completo donde se ejecutara del diseño de riego, para esta proyecto no fue posible realizar el levantamiento topográfico ni la estación total para el levantamiento altimétrico para determinar las curvas del nivel del área ni la altura de cada cota. Por lo que solo se cuenta con los datos que se registran en algunos documentos de información secundaria.

### ***Superficie del Proyecto***

En la vereda Ucata de Tona Santander se encuentra ubicado el proyecto donde se evaluara la siembra de la cebolla en Rama Junca con un sistema de riego por micro aspersión, para este proyecto se cuenta con un área de 5000 [m<sup>2</sup>].

## **Figura 7**

### ***Cultivo objeto estudio***



Fuente: Fotografía Propia

Según el IGAC (2003), los suelos del municipio de Toná, en el departamento de Santander, en los que se desarrollan los cultivos de cebolla de rama, corresponden a las unidades MHD y MHF, las cuales se ubican en un paisaje de montaña a alturas sobre el nivel del mar que van de los 3.200 a los 3.400 metros, en un clima muy frío, muy húmedo, con temperatura de 8 a 12 °C y precipitación promedio de 500 a 1.000 y 1.000 a 2.000 milímetros de lluvia anual. Estos suelos presentan relieves fuertemente ondulados con pendientes de 12 a 25 % y planos a ligeramente.

### ***Análisis Físicos del Suelo***

Para este proyecto se realizó un análisis fisicoquímico de suelo, Muestra compuesta a una profundidad de 40 cm en el área de trabajo las cuales fueron enviadas al laboratorio químico Gana Campo donde se obtuvieron los siguientes resultados, para detallar los resultados completos (ver Apéndice 1).

Debido a la falta de datos durante los estudios de suelo, se hizo una ardua investigación para obtener los resultados de los datos faltantes para conocer las características morfológicas el suelo y los diferentes parámetros necesarios para resolver los distintos cálculos claves para el desarrollo adecuado del sistema de riego.

En este proceso se debe considerar los siguientes parámetros:

- El % de Humedad
- Capacidad de campo
- Densidad aparente
- Humedad del Punto de Marchitamiento
- Textura
- Infiltración del suelo

**Tabla 7***Resultados de muestra de Suelo*

Propiedades físicas	Resultados
Textura de suelo	Franco Arenoso(La textura es franco arenosa con dificultades para la retención de agua y nutrientes)  Arena 56 %  Limo 30 %  Arcilla 14%
Propiedades químicas	
pH	6,29(La muestra de suelo presenta condiciones en el pH ligeramente ácido)

Fuente: Resultados de laboratorio químico Gana campo.

***Determinación Indirecta de la capacidad de Campo y del Punto de Marchitamiento***

La cantidad de agua retenida por el suelo en CC y el PM se mide en el laboratorio o In situ, debido a que el análisis físico que se realizó al área de siembra carece de algunos datos se implementara la fórmula de (Peele) y Briggs a falta de los datos de análisis que dan la humedad del suelo, nos proporciona datos analíticos aproximados más fáciles de obtener, como lo son la composición de la textura del suelo.

Formula:

$$Cc = 0.48 Ac + 0.162 L + 0.023 Ar + 2.62$$

$C_c$ = Humedad a la capacidad de campo, expresada como humedad gravimétrica en tanto por ciento

$A_c$ = Contenido de Arcilla, expresada en %.

$L$ = Contenido de limo, expresada en %.

$A_r$ = Contenido de arena, expresado en %.

$$P_m = 0.302 A_c + 0.102 L + 0.0147 A_r$$

$P_m$ = Humedad en el punto de marchitamiento, expresados como humedad gravimétrica en tanto por ciento.

$A_c, L$  y  $A_r$  se expresas igual que la fórmula de  $C_c$ .

Ahora se pasa a calcular la humedad en la capacidad de campo y en el punto de marchitamiento de un suelo que tiene las siguientes texturas

Arena 56 %

Limo 30%

Arcilla 14%

La siguiente composición se expresa en humedad gravimétrica

$$C_c = 0.48 A_c + 0.162 L + 0.023 A_r + 2.62$$

$$C_c = 0.48 * 14 + 0.162 * 30 + 0.023 * 56 + 2.62 = 15.48\% Hg$$

$$P_m = 0.302 A_c + 0.102 L + 0.0147 A_r$$

$$P_m = 0.302 * 14 + 0.102 * 30 + 0.0147 * 56 = 8.1\%Hg$$

Entonces se puede definir que el agua disponible es igual a la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento.

Ahora se calcula el volumen de agua disponible en el suelo en donde se han tomado los siguientes datos.

- Densidad aparente= 1,25 [g/cm<sup>3</sup>]
- Profundidad del suelo = 0.6 [m]= 60 [cm]
- Humedad a la capacidad de campo Cc= 15.4% de suelo seco
- Humedad en el punto de marchitamiento Pm= 8.1 % de suelo seco
- Fuerza de abatimiento= 0,9

Ahora se calcula el volumen de agua disponible en 1ha de suelo en donde se han tomado los siguientes datos.

Desarrollo:

Se va utilizar la fórmula de lámina de agua

$$\text{Peso de 1 ha del suelo seco} = 10,000[m^3] * 0,60[m] * 1,25 \left[ \frac{t}{m^3} \right] = 7,500[t * m]$$

$$\text{Agua disponible} = Cc - Pm = 15.4\% - 8.1 = 7.3\%$$

$$\text{Volumen de agua disponible} = \frac{7,500 * 7.3}{100} = 547.5 [t * m] = 547.5[m^3]$$

El aprovechamiento de agua para el cultivo de Cebolla Junca será más efectivo cuando el contenido de agua en el suelo se mantiene cerca a la capacidad de campo.

**Tabla 8***Propiedades físicas del suelo relacionadas con la retención de humedad*

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Capacidad de campo (% θ g)	Punto de marchitez permanente (% θ g)	Infiltración básica (mm/h)
Arenoso	1.65 (1.55 – 1.90)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	50 (25 – 250)
Franco arenoso	1.50 (1.40 – 1.60)	14 (10 – 18)	6 (4 – 8)	25 (13 – 75)
Franco	1.40 (1.35 – 1.50)	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	13 (8 – 20)
Franco arcilloso	1.35 (1.30 – 1.40)	27 (23 – 31)	13 (11 – 15)	8 (2.5 – 15)
Arcilloso	1.25 (1.20 – 1.30)	35 (31 – 39)	17 (15 – 19)	5 (1.3 – 10)

Fuente: Relación suelo agua y planta (Fuentes y García, 1999)

***Disponibilidad del Agua***

El agua para riego que se necesita para la futura implementación del sistema de riego por micro aspersion se obtendrá de un pozo de tierra que cuenta la parcela ubicada en Ucata de Tona Santander, la cual se encuentra a una distancia de 20 metros del área de siembra.

Las medidas del pozo son las siguientes

Ancho: 3 [m]

Largo: 6 [m]

Profundidad 2 [m]

Volumen Almacenamiento= Ancho x Largo x Profundidad = 36 [m3]

***Estado del Cultivo***

Para el cultivo de la cebolla Junca (*Allium fistulosum L.*) se utilizó un área de 5000 M<sup>2</sup>, con una superficie de 0,50 ha para lograr los objetivos del proyecto del Diseño De Un Sistema

De Riego Por Micro aspersión, el área se dividió en cuatro partes iguales ( ver Apéndice 2) teniendo en cuenta la dirección de siembra de las plantas.

El marco de plantación para la cebolla junca es la siguiente; Surcos de 60 cm y 40 cm entre plantas, se puede determinar la división de esta para el respectivo diseño hidráulico (ver Apéndice 3).

### **Diseño Agronómico**

El diseño agronómico se elabora con la finalidad de garantizar que la instalación sea capaz de suministrar la cantidad óptima de agua al cultivo, permitiendo llevar un control eficaz y eficiencia, ahorro y aplicación del agua.

### ***Requerimiento Hídrico de los Cultivos***

La estimación del requerimiento hídrico de los cultivos se realizará a través del cálculo de su evapotranspiración, y definiendo mes a mes el agua que el suelo retiene proveniente de la lluvia o del riego y que el cultivo puede extraer en su zona radicular. La evapotranspiración de los cultivos es proporcional a la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_0$  (FAO, 2006)

Para este punto se va a calcular la evapotranspiración de un cultivo de cebolla Junca y determinar la necesidad de agua en el cultivo, se realizarán cálculos con las formula de Blaney-Criddle, este método es aplicado para periodos de mes.

### ***Método de Blaney- Criddle***

Este método se aplica para periodos de un mes, su fórmula es la siguiente.

Formula:

$$f = p(0.46 t + 8.13) * Duración_{mes}$$

*f = factor Blaney – Criddle, expresado en mm de agua diarios,  
tiene el mismo valor para todos los días del mes considerado*

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), se aplica la ecuación de Phelan, la cual mediante un coeficiente de Temperatura aplica una corrección a la  $ET_o$ .

$$ET_o = f * k_t$$

$$k_t = 0.031144T + 0.2396$$

Los datos de T media son obtenidos de datos meteorológicos IDEAM.

*t = Temperatura media mensual, expresada en °c*

$$t = \frac{T_{maxima\ media} + T_{minima\ media}}{2}$$

Las temperaturas de acuerdo al IDEAM para la zona son las siguientes en los meses de interés.

**Tabla 9**

*Temperaturas*

	oct	nov	dic	ene
<b>Tmax</b>	11,8	11,6	11,5	8
<b>Tmin</b>	11.85	11.65	11.6	7.15

*p = Porcentaje de horas luz del mes respecto de las totales del año*

El valor de P se toma de tablas de acuerdo a la latitud del sitio donde se desarrollará el proyecto. Para la zona de Berlin bajo análisis, la latitud es norte es 7.15 ° (ver Apéndice 4). Se toman los siguientes valores desde el Apéndice 4 para interpolar a la latitud norte de 7.15° para los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre.

**Tabla 10**

*Insolación*

ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Latitud
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12	11,8	11,6	11,5	8
11.65	11.75	11.95	12.15	12.35	12.40	12.35	12.25	12	11.85	11.65	11.6	7.15
11,7	11,8	12	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12	11,9	11,7	11,7	6

$$P = \frac{\text{Horas luz mes}}{\text{Horas luz año}}$$

La duración del mes se determina con la siguiente ecuación.

$$\text{Duración}_{\text{mes}} = \frac{\text{Días}_{\text{considerados}}}{\text{Días}_{\text{mes}}}$$

Se desarrolla calculo tipo para determinar el factor de Blaney- Criddle y la evapotranspiración de referencia para el mes de octubre y para los demás meses el procedimiento es el mismo.

Determinación de la temperatura promedio.

$$t_{\text{oct}} = \frac{13.2 + 5.5}{2} = 9.3 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Ahora se calcula la insolación.

$$P_{\text{octubre}} = \frac{11.85}{151.1} = 7.8\%$$

Con los datos ya calculados se determina el factor de Blaney- Criddle para el mes de octubre.

$$f_{oct} = 7.8(0.46 * 9,3 + 8.13) = 96.8 \left[ \frac{mm}{dia} \right]$$

$$k_t = 0.031144 * 9.3 + 0.2396 = 0.53$$

$$ETo_{oct} = 96.8 * 0.53 = 51.22 \left[ \frac{mm}{dia} \right]$$

La ETo representa el valor medio diario para el periodo de un mes.

Los datos a trabajar son los siguientes:

- Fecha de siembra : 1 de octubre
- Duración del periodo vegetativo: 95 días
- Situación: 7.15° latitud norte de la zona.
- Temperatura media mensuales.

**Tabla 11**

*Meses del periodo vegetativo*

MES	# DIAS	T° media	P [%]	f [mm/día]	kt	ETo mm/día
Octubre	31	9,3	7,8	96,8	0,53	51,22
Noviembre	30	8,7	7,7	93,4	0,51	47,69
Diciembre	31	8,5	7,7	92,7	0,50	46,75
Enero	3	7,2	7,7	88,1	0,46	40,87
Total	95					

Es de importancia recalcar que, para los cálculos futuros de la evapotranspiración del cultivo, el KC (coeficiente del cultivo), depende también de las características de la planta, y

expresa una variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su periodo vegetativo.

Ahora se determinará los coeficientes del cultivo en cada uno de las cuatro etapas del cultivo de Cebolla Junca, donde su periodo vegetativo de duración es de 95 días, para este proyecto se tiene programada la siembra para el 1 de octubre del 2023.

**Tabla 12**

*Coficiente del cultivo en etapas*

	Duración [días]	Fecha inicio	Kc
Primera etapa	25	1/10-25/10	0.50
Segunda etapa	40	26/10-4/12	0.70
Tercera etapa	20	5/12-24/12	1.00
Cuarta etapa	10	25/12-3/01	1.00
Total	95		

Nota: los datos de Kc son de la tabla de coeficientes de cultivos anuales (C. Brouwer y M. Heibloem)

Ahora se va a calcular la evapotranspiración del cultivo por periodos de etapas, para los siguientes resultados, se trabajó con las siguientes formula.

$$ET_c = ET_o * Kc$$

$$ET_{c_{oct}} = 51.22 * 0,50 = 25,61 \left[ \frac{mm}{día} \right]$$

Y así para todos los periodos de etapas como se evidencia en la

Tabla 13.

**Tabla 13***Cálculos de la necesidad de agua de todo el periodo vegetativo*

Fechas	Duración	ET <sub>o</sub>	KC	ET <sub>c</sub>	ET <sub>c</sub>	Mes
		[mm/día]		[mm]	periodo[mm]	
1/10-25/10	25	51,22	0,5	25,6	640	Octubre
26/10-31/10	6	51,22	0,7	35,9	215	Octubre
1/11-30/11	30	47,69	0,7	33,4	1002	Noviembre
1/12- 4/12	4	46,75	0,7	32,7	131	Diciembre
5/12- 24/12	20	46,75	1	46,8	935	Diciembre
25/12- 31/12	7	46,75	1	46,8	327	Diciembre
1/01- 3/01	3	40,87	1	40,9	123	Enero
Total	95				3373	

Después de resolver los respectivos cálculos se suma todos los datos ET<sub>c</sub> del periodo para poder obtener la necesidad hídrica total del cultivo que es todo el periodo del ciclo vegetativo de la cebolla Junca. La sumatoria del ET<sub>c</sub> del periodo indica que se necesita **3373 [mm]** en lámina de agua para todo el proceso vegetativo equivalentes a **3373 [m<sup>3</sup>/ha]**.

Se puede observar que en el consumo hídrico del cultivo es mayor en la segunda etapa del desarrollo, esto se debe a que la plata presenta las mayores acumulaciones de biomasa y los órganos se desarrollan.

De las tablas anteriores se aprecia que las necesidades diarias de todo el periodo ET<sub>c</sub> (cultivo) no son las mismas para todos los días del mes de diciembre y enero.

El cultivo de cebolla Junca tiene un periodo vegetativo de 95 días. Se siembra el 1 de octubre y termina el ciclo el 3 de enero, como se puede apreciar en los cuadros.

### ***Determinación de los Parámetros del Riego***

Después de conocer las necesidades hídricas de los cultivos, se puede determinar los distintos parámetros del riego, los más importante para que el diseño de riego por microaspersión funcione correctamente es determinar la dosis, intervalo entre riego, caudal necesario duración del riego, numero de aspersores y la habilidad del mismo.

### ***Intervalo Entre Riegos***

El intervalo de riego esta dado por la siguiente ecuación.

$$\text{Intervalo} = \frac{\text{Dosis neta}}{\text{ET}(\text{cultivo})\text{diario}}$$

Siendo la dosis neta la cantidad de agua que el suelo puede retener y poderle ofrecer al cultivo de Cebolla Junca y se determina con la siguiente formula.

$$\text{Dosis neta} = Dn = Ln = (Cc - Pm) * Da * Z * f$$

Donde:

*Cc = Capacidad de campo, expresado en porcentaje en peso de suelo seco*

$$Cc = 0.48 * \%arcilla + 0.162 * \%limo + 0.023 * \%arena + 2.62$$

*Pm = Punto de marchitamiento, expresado en porcentaje en peso de suelo seco*

$$Pm = 0.302 * \%arcilla + 0.102 * \%limo + 0.0147 * \%arena$$

*Da = Densidad Aparente del suelo*

*Z = Profundidad de las raíces, en m*

*f = Fracción de agotamiento del agua disponible, expresado en tanto por uno*

Se realizara un diseño agronómico de una parcela de cultivo de Cebolla junca con los siguientes datos:

- Densidad aparente=  $D_a = 1.25 \text{ [g/m}^3\text{]}$
- Profundidad de suelo a regar=  $0.60 \text{ [m]} = 60 \text{ [cm]}$
- Fracción de abatimiento=  $0,30$
- Eficiencia de aplicación =  $E_a = 85\%$
- Duración del periodo vegetativo=  $95 \text{ días}$
- Inicio de siembra: 1 de octubre, cosecha 3 de enero
- Necesidades netas mensuales de agua ( evapotranspiración)

**Tabla 14***ETc*

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
ETc m <sup>3</sup> /ha	855,4	1001,6	1.393,3	122,6

De acuerdo al Apendice 1, del análisis del suelo se extraen los valores de arena, limo y arcilla requeridos para determinar la capacidad de campo.

$$Cc = 0.48 * 14 + 0.162 * 30 + 0.023 * 56 + 2.62 = 15.4\%$$

$$Pm = 0.302 * 14 + 0.102 * 30 + 0.0147 * 56 =$$

$$Dn = (0,154 - 0,0729) * 1,25 * 0.6 * 0.3$$

$$Dn = 1,85[cm] = 18,5[mm] = 185 \left[ \frac{m^3}{ha} \right]$$

Ahora se pasa a calcular las necesidades diarias del cultivo de cebolla para cada uno de los meses

Se logra dividiendo las necesidades netas mensuales con los días de cada mes.

**Tabla 15***Necesidades diarias del cultivo*

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
--	---------	-----------	-----------	-------

m3/ha	27,6	33,4	44,9	40,9
-------	------	------	------	------

Finalmente para determinar los intervalos de riego, se divide la dosis neta entre la necesidad diaria del cultivo para cada uno de los meses, obteniendo la siguiente frecuencia de riego.

**Tabla 16**

*Intervalo entre riego*

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Días	7	6	4	5

Ahora se pasa a realizar el ajuste De la dosis Total ajustada con la siguiente formula:

$$Ct = \frac{Dn \text{ ajustada}}{Ea}$$

$$Ct_{oct} = \frac{185}{0,85}$$

**Tabla 17**

*Dosis Total ajustada*

DT(ajustada)	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
m3/ha	217	217	217	217

***Elección del Aspersor***

Para la elección del aspersor se utiliza el catálogo del fabricante de aspersores NaanDan Irrigation. De toda la oferta que ofrece el fabricante, se selecciona la referencia Flipper Marron. Dicho elemento ofrece una operación con bajo caudal y una operación confiable durante heladas (ver Apéndice 5). Caudal máximo de 43 [l/h] y espaciamiento máximo recomendado 9 [m].

$$\text{Diámetro cobertura aspersor} = 9 [m]$$

$$\text{Velocidad de infiltración básica} = 13[mm/hr]$$

$$\textit{Presión mínima} = 2 [\textit{bar}]$$

### **Diseño Hidráulico**

Con el diseño hidráulico se busca calcular las dimensiones de la red de distribución (Tubería Principal y tubería porta ramales), los ramales, porta aspersores o línea de riego con los que se distribuye el agua al cultivo.

Para realizar el diseño Hidráulico para el Proyecto del cultivo de Cebolla Junca y teniendo en cuenta los resultados del diseño agronómico al igual que la temperatura máxima media de los meses vegetativos, considerando la vereda de Tona Situada en Berlín Santander maneja una temperatura de 5 a 9 [°C], lo cual hace que se presenten heladas en el año, es por eso que se necesita de una instalación adecuada para el área de siembra, se plantea utilizar Micro aspersores de la marca Flipper ( ver Apéndice 5). Es el método más económico de protección contra heladas para el cultivo de hortalizas como lo es la cebolla Junca, este sistema de riego se ajusta como una medida de protección contra heladas por sobre la planta.

Características del aspersor de riego:

*Presión de operación de 2.0 [bar].*

*Caudal: 43 [l/h].*

*Color = Marrón*

### **Numero de Ramales**

Para determinar el número de ramales es importante conocer la velocidad del viento de la zona donde se ubicarán los aspersores. La velocidad del viento nos permitirá seleccionar de manera adecuada el patrón de ubicación de los aspersores.

De acuerdo al Apéndice 6, la velocidad del viento para la zona de Berlin, municipio de Tona, Santander es de 3-4 [m/s] o 10.8-14.4 [km/h]. Siendo el promedio de estas velocidades 12.5 [km/h].

Existen tres tipos principales de patrones de espaciado de aspersores y una serie de variaciones para adaptar estos patrones a situaciones especiales. Rain Bird (2020). El patrón cuadrado, el triangular y el rectangular. La elección del tipo de patrón es de acuerdo a las ventajas que pueda brindar en el cultivo a implementar el sistema de riego.

Debido a las velocidades altas que se tienen en la zona, se elige trabajar con un patrón de distribución de aspersores de tipo rectangular, permitiéndonos combatir las condiciones del viento en el sitio.

### **Tabla 18**

#### *Espaciamiento patrón rectangular*

Velocidad viento del sitio	Espaciado máximo
0 a 5 [km/h]	Largo = 60% del diámetro Ancho = 50% del diámetro
6 a 11 [km/h]	Largo = 60% del diámetro Ancho = 45% del diámetro
13 a 19 [km/h]	Largo = 60% del diámetro Ancho = 40% del diámetro

Fuente: Rain Bird (2020)

De acuerdo a la velocidad del viento en Berlín, se trabaja con las recomendaciones de la Tabla 18 con las recomendaciones de largo y ancho de 60 y 40% respectivamente del diámetro

del aspersor. Siendo el largo la distancia entre ramales y el ancho la distancia entre aspersores en cada ramal.

Adicionalmente, se tendrá en cuenta la división del terreno, tal como se aprecia en el Apéndice 2. Donde el área de siembra está dividida en cuatro partes iguales, cada una con un área de 1220 [m<sup>2</sup>], para un total de 4880 [m<sup>2</sup>] para la siembra del cultivo de cebolla Junca. Se plantea determinar la cantidad de aspersores para cada lote 1220 [m<sup>2</sup>].

El sistema de riego a implementar será independiente para cada uno de los lotes, por lo tanto, se contará con una línea principal y de esta línea principal se derivarán 4 líneas secundarias, que alimentarán los ramales de cada uno de los 4 lote.

$$Area_{lote} = 1220 [m^2]$$

$$Diametro_{cobertura} = 8 [m]$$

$$Largo_{patron} = 60\% * Diametro_{cobertura} = 0.6 * 8 = 4.8 [m]$$

$$Ancho_{patron} = 40\% * Diametro_{cobertura} = 0.4 * 8 = 3.2 [m]$$

$$Largo_{linea-secundaria} = 50 [m]$$

$$Numero_{ramales-lote} = \frac{Largo_{linea-secundaria}}{Largo_{patron}} = \frac{50}{4.8} = 10.42 \approx 10$$

$$Numero_{ramales} = Numero_{ramales-lote} * Lotes = 10 * 4 = 40$$

Por lo tanto, se tendrán un total de 40 ramales para los 4880 [m<sup>2</sup>].

### ***Longitud Ramales***

Del Apéndice 2 se tiene que el ancho de cada lote es de 25 [m]. Por lo tanto, para determinar la cantidad de aspersores por lote se realizan los siguientes cálculos.

$$Largo_{ramal} = 25[m]$$

**Número de Aspersores**

$$Numero_{aspersores-ramal} = \frac{Largo_{ramal}}{Ancho_{patron}} = \frac{25}{3.6} = 6.94 \approx 7$$

$$Numero_{aspersores-lote} = Numero_{aspersores-ramal} * Numero_{ramales-lote} = 7 * 9 = 63$$

$$Numero_{aspersores} = Numero_{aspersores-lote} * Lotes = 63 * 4 = 252$$

El total de aspersores a instalar es de 252 unidades.

**Duración de Riego en Cada Posición.**

$$Duración(hora) = \frac{1000 * Dt_{ajustada}}{Caudal_{aspersor}[lph] * Numero_{aspersores}}$$

$$Duración(hora)_{oct} = \frac{1000 * 217}{43 * 252} = 20[horas]$$

$$Duración(hora)_{oct} = \frac{Dt_{ajusta_{oct}(mm)}}{Pluviometria(\frac{mm}{hr})} = \frac{217}{2.21} = 98[horas]$$

**Tabla 19****Duración de riego por horas**

Duración de Riego	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Hora	20	20	20	20

Cada riego tiene un aproximado de 20 horas, por lo tanto se puede evaluar aumentar el número de riegos por mes y disminuir el tiempo de riego.

**Diámetro Ramal**

Ahora se calcula el diámetro de un ramal en manguera agrícola de riego.

El diámetro se determina en función del caudal del ramal. Por lo tanto, se determina el caudal de cada ramal

$$Caudal_{ramal} = Numero_{aspersores-ramal} * Caudal \text{ de aspersor}$$

$$Caudal \text{ de Aspersor: } 43 \text{ [l/hr]} = 0.043 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$Numero_{aspersores-ramal} = 7$$

$$Caudal_{ramal} = q_r = 0.043 * 7 = 0.301 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

La velocidad del agua debe encontrarse en el rango de 0,6 a 2,25 [m/s]. Ojeda y Del (2012). Cuando la velocidad es inferior a 0,6 [m/s], los diámetros resultan excesivos, lo que aumenta el costo de la tubería, además de propiciar la acumulación de sedimentos. Por otro lado, velocidades superiores a 2,25 [m/s] generan pérdidas de carga significativas y aceleran el deterioro de las tuberías. Considerando estas premisas, se optará por una velocidad de diseño de 1,5 [m/s] al dimensionar la tubería.

$$Caudal = Velocidad * Area = Velocidad * \frac{\pi \emptyset^2}{4}$$

De la ecuación anterior tenemos que el diámetro es:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4q_r}{\pi Velocidad}} = \sqrt{\frac{4 * \left(\frac{0.301}{3600}\right)}{\pi * 1.5}} = 0.0084 \text{ [m]} = 8.4 \text{ [mm]}$$

De acuerdo a el diámetro mínimo calculado, se procese a seleccionar la manguera del Apéndice 7. Se selecciona manguera de polietileno o agrícola de **diámetro 3/8"**, con diámetro interno de 9.7 [mm].

### ***Perdida de Carga por Rozamiento en Ramal***

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$h_f = 0.465 * q^{1.75} * D^{-4.75} * (L + N * L_e) * F$$

Caudal q en [l/h] y diámetro en [mm].

$$F = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

$N = \text{Numero total de aspersores en ramal} = 8$

$m = \text{toma el valor de 1,75 para Blasius (PVC o PE)} = 1.75$

$$F = \frac{1}{1+1.75} + \frac{1}{2*8} + \frac{\sqrt{1.75-1}}{6*8^2} = 0.438$$

$$h_{f-ramal} = 0.465 * 301^{1.75} * 9.7^{-4.75} * (25 + 7 * 0.5) * 0.438$$

$$h_{f-ramal} = 2.59[mca]$$

Las pérdidas de carga son 2.59 [mca].

Ahora tendremos en cuenta que en el último de los aspersores se debe contar con la presión de trabajo según catálogo.

$$\text{Presión}_{trabajo} = 2 [bar] = 2 [kg/cm] = 20 [mca]$$

Aplicando la ecuación de conservación de la energía, teniendo en cuenta que nos encontramos a nivel (máxima en cabeza y mínima en cola):

$$H_{cabeza-ramal} = H_{cola-ramal} + h_{f-ramal} = 20 + 2.59 = 22.59 [mca]$$

### ***Longitud de la Línea Porta Ramales***

La línea porta ramales está constituida por 4 tramos, cada uno partiendo desde el centro del cultivo. 2 tramos para un lado y los otros 2 para el otro lado del cultivo. Cada línea secundaria suministra el agua a los ramales de un lote. Por lo tanto, la longitud requerida por línea lateral es de 50 metros.

$$\text{Longitud}_{secundaria} = 50 [m]$$

$$\text{Longitud}_{equivalente-ramal} = 1 [m]$$

En total tendremos 4 tuberías portar ramales de una longitud de 50 m llevando insertos 11 ramales porta aspersores.

### ***Diámetro Tubería Porta Ramales***

Ahora se calcula el diámetro de la tubería porta ramales en manguera agrícola de riego.

El diámetro se determina en función del caudal del porta ramal. Por lo tanto, se determina el caudal de cada porta ramal.

$$Caudal_{porta-ramal} = Numero_{aspersores-lote} * Caudal\ de\ aspersor$$

$$Caudal\ de\ Aspersor: 43 [l/hr] = 0.043[m^3/h]$$

$$Numero_{aspersores-lote} = 63$$

$$Caudal_{porta-ramal} = q_{pr} = 0.043 * 63 = 2.709 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

En este caso también optaremos por una velocidad de diseño de 1,5 [m/s] al dimensionar la tubería.

$$Caudal = Velocidad * Area = Velocidad * \frac{\pi \emptyset^2}{4}$$

De la ecuación anterior tenemos que el diámetro es:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4q_{pr}}{\pi Velocidad}} = \sqrt{\frac{4 * \left(\frac{3.784}{3600}\right)}{\pi * 1.5}} = 0.0253[m] = 25.3[mm]$$

De acuerdo a el diámetro mínimo calculado, se procese a seleccionar la manguera del Apéndice 7. Se selecciona manguera de polietileno o agrícola de **diámetro 1"**, con diámetro interno de 25.4 [mm].

### ***Perdida de carga por rozamiento en porta ramal***

Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$h_f = 0.465 * q^{1.75} * D^{-4.75} * (L + N * L_e + L_{e-accesorios}) * F$$

Caudal q en [l/h] y diámetro en [mm].

$$F = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

$$N = \text{Numero total de aspersores por lote} = 88$$

$$m = \text{toma el valor de 1,75 para Blasius (PVC o PE)} = 1.75$$

$$F = \frac{1}{1+1.75} + \frac{1}{2 * 63} + \frac{\sqrt{1.75-1}}{6 * 63^2} = 0.371$$

Apéndice 8, tenemos que para tubería con diámetro 25.4 [mm] tiene una pérdida en longitud equivalente de 0.5 y 5 para una reducción y una válvula de bola respectivamente.

$$L_{e-accesorios} = 0.5 + 5 = 5.5$$

$$h_f = 0.465 * 2709^{1.75} * 25.4^{-4.75} * (25 + 63 * 1 + 5.5) * 0.371$$

$$h_f = 3.48 \text{ [mca]}$$

Las pérdidas de carga son 3.48 [mca].

Aplicando la ecuación de conservación de la energía, teniendo en cuenta que nos encontramos a nivel (máxima en cabeza y mínima en cola):

$$H_{\text{cabeza-portaramal}} = H_{\text{cola-portaramal}} + h_{f-ramal} = 22.59 + 3.48 = 26 \text{ [mca]}$$

### ***Longitud de la Línea Principal***

La línea principal tiene una longitud de 85 metros.

$$\text{Longitud}_{\text{principal}} = 85 \text{ [m]}$$

### ***Diámetro Tubería Principal***

La línea principal será en tubería de PVC. El diámetro se determina en función del caudal total de riego.

$$Caudal_{principal} = Numero_{lote} * Caudal_{porta-ramal}$$

$$Caudal_{porta-ramal} = 2.709 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Caudal_{principal} = q_{principal} = 4 * 2.709 = 10.836 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

En este caso también optaremos por una velocidad de diseño de 1,5 [m/s] para dimensionar la tubería.

$$Caudal = Velocidad * Area = Velocidad * \frac{\pi \emptyset^2}{4}$$

De la ecuación anterior tenemos que el diámetro es:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4q_{pr}}{\pi Velocidad}} = \sqrt{\frac{4 * \left(\frac{10.836}{3600}\right)}{\pi * 1.5}} = 0.05054[m] = 50.54[mm]$$

**De acuerdo a el diámetro mínimo calculado, se procede a seleccionar la manguera del Apéndice 9**

*Catalogo PVC presión.* Se selecciona tubería de PVC de **diámetro 2"**, con diámetro interno de 54.6 [mm].

### ***Perdida de Carga por Rozamiento en Tubería Principal***

Procedemos a determinar las pérdidas de carga y verificar que el diámetro cumple el criterio de diseño. Las pérdidas de carga por rozamiento se calcularán mediante la ecuación de Blasius:

$$h_{f-principal} = 0.465 * q^{1.75} * D^{-4.75} * L_{principal} + L_{e-accesorios}$$

Caudal q en [l/h] y diámetro en [mm].

Del Apéndice 8, tenemos que para tubería con diámetro 54.58 [mm], tiene una perdida en longitud equivalente de 1 para Tee con salida en línea.

$$L_{e-\text{accesorios}} = 1$$

$$h_{f-\text{principal}} = 0.465 * 10836^{1.75} * 54.58^{-4.75} * (85 + 1)$$

$$h_f = 2.58 \text{ [mca]}$$

Las pérdidas de carga son 2.58 [mca]. A esta carga se suma la perdida por el filtro, su selección se toma Apéndice 10. Según la gráfica, para filtro BOD 100 SCREEN HEAD LOSS 130 MICRON de diámetro entrada y salida de 2 pulgadas y un caudal de 10 [m3/h] la perdida de presión es de 0.14 [psi]=0.1 [mca]. Por lo tanto, la perdida de carga acumulada es de 2.68 [mca].

Aplicando la ecuación de conservación de la energía, teniendo en cuenta que nos encontramos a nivel (máxima en cabeza y mínima en cola):

$$H_{\text{cabeza-principal}} = H_{\text{cola-principal}} + h_{f-\text{principal}} = 26 + 2.68 = 28.68 \text{ [mca]}$$

$$H_{\text{cabeza-principal}} = 28.68 \text{ [mca]} = 41 \text{ [psi]}$$

Las pérdidas de carga en la tubería principal son de 28.68 [mca] = 41 [psi].

### ***Selección Equipo de Bombeo***

La selección del equipo de bombeo se realiza con el caudal y presión requerida para operar los micro aspersores. Para ello se usa el caudal total de 10836 [l/h] y presión de 41 [psi]. Del Apéndice 11, se determina que la bomba a emplear es el modelo BARNES GE 1.5C 50-4, potencia eléctrica 5 [hp].

## Resultados

### Características del Cultivo de la Cebolla Junca para el Diseño Agronómico

La investigación de los parámetros de cebolla Junca como el cultivo principal arroja los siguientes resultados para la elaboración del diseño agronómico. Como se puede evidenciar el ciclo vegetativo de la cebolla Junca tiene 4 fases que duran aproximadamente 95 días, la primera fase inicia desde el 1 de octubre hasta el 25 de octubre, la segunda fase es la más larga tiene una duración de 40 días desde el 26 de octubre hasta el 4 de diciembre, la tercera etapa dura 20 días, desde el 5 de diciembre hasta el 31 y la última desde el 1 de enero hasta el 3 de enero completando así el ciclo vegetativo, estos son los meses donde se implementara el riego para suplir las necesidades de agua que la planta necesita.

#### Tabla 20

##### *Características de la Cebolla Junca*

Parámetro	Valor
Tipo de cultivo	Cebolla Junca( <i>Allium fistulosum</i> L.)
Fases del cultivo	4 fases
Profundidad de las raíces	60cm
Distancia entre plantas	40 cm
Fracción de agotamiento	0,30
Días total de la fase vegetativa	95 días

## Variable Agroclimatológica del Lugar de Estudio

### *Aspectos Generales del Área de Trabajo*

Como se puede evidenciar en la Tabla 21 el área total se dividió en 4 lotes, cada lote con 1220,16 [m<sup>2</sup>], para el método de siembra se distribuyen la distancia de surcos de 60 [cm] y la distancia entre plantas de 40[cm], quedando un área neta de 4880,54 [m<sup>2</sup>] que representa una superficie de 0,488 [ha] para la siembra de la cebolla junca.

**Tabla 21**

### *Aspectos generales del área del proyecto*

Parámetro	Medida	Valor
Cultivo		Cebolla Junca
Área Bruta del lote	Ha	5000m <sup>2</sup> (0.5000ha)
Área Neta del lote	Ha	4880.54 m <sup>2</sup> (0,4880 ha)
Medidas de surcos de siembra	cm	60
Fuente de agua		Pozo de tierra a 50 m de la parcela.
Tipo de Riego		Microaspersión
Pendiente		3m

Como se puede evidenciar en la

Tabla **22** las características agroclimáticas de la zona, fueron sacadas del informe del IDEAM, comprendidos del año 2019, donde se obtuvieron los datos promedios mensuales, estos datos son el soporte para el desarrollo del sistema agronómico.

**Tabla 22***Características Agroclimáticas*

Factores climáticos	Promedio
Temperatura Máxima media	13,5 °C
Temperatura mínima Media	4,5 °C

Fuente: IDEAM

En la Tabla 23, se puede observar los valores obtenidos de las muestras hidrofísicas del suelo que fueron tomadas en el área del proyecto tipo de muestra compuesta donde se determinó la textura del suelo, resultado que determino los parámetros de CC y Pm para la elaboración del diseño agronómico.

**Tabla 23***Características suelo*

Parámetros	Valor
Textura y porcentaje de suelo	Franco Arenoso Arcilla 14 %- Limo 30- Arena 56 %
Húmeda de capacidad de campo CC	15%
Humedad en el punto de marchitamiento Pm	8.1%
Agua disponible en el área	547.5m <sup>3</sup>
Densidad aparente	1,25 g/cm <sup>3</sup>
PH	6,5

### ***Demanda Hídrica del Cultivo de Acuerdo a Variables Agro-Climatológicas del Sitio***

El aforo volumétrico realizado en la fuente de agua, que se encuentra ubicada a 50 [m] aproximadamente al área a trabajar fuente que alimentará al sistema, se comprobó que el caudal del pozo de tierra es de  $Q\ 36\ [m^3]$ .

### **Diseño del Sistema de Riego por Micro Aspersión para el Cultivo de Cebolla Junca.**

La realización de cada objetivo específico expuesto en el proyecto fueron clave para determinar el diseño agronómico el cual permitió determinar los requerimientos hídricos que necesita el cultivo de cebolla junca para completar su ciclo, el análisis físico químico fue clave para determinar el tipo de suelo y sus características, características que se pudo utilizar para lograr establecer la capacidad de campo y el punto de marchites que es fundamental para determinar los demás parámetros que conforman Intervalo ar el óptimo diseño agronómico e hidráulico para el diseño del sistema de riego por microaspersión, para lograr el diseño se utilizó la “ Técnicas de Riego” de Fuentes Yagüe y García Legaspi , obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 24***Resultado Diseño Agronómico*

Evapotranspiración del cultivo	del	227,27 [mm] (en lámina de agua)			
		22.727 [m3/ha]			
Dosis de riego diaria		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
				e	
	m3/ha	27,6	33,4	44,9	40,9
Intervalo de riego		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
				e	
	Días	7	6	4	5
Tiempo de riego	Duración de Riego	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
				e	
	Hora	20	20	20	20

El diseño hidráulico consiste en determinar los siguientes aspectos:

**Tabla 25***Resultados Diseño Hidráulico*

Tipo de riego	Micro aspersión
Longitud de tubería principal	85[m]
Diámetro de tubería principal	2 [in]
Caudal en el origen lateral	10,836 [m3/hr]
Perdida de carga máxima	41 [psi]
Longitud de tubería porta ramal	4 líneas de 50 [m]
Diámetro de tubería porta ramal	1 [in]
Longitud de tubería ramal	36 ramales de 25 [m]
Diámetro tubería ramal	3/8 [in]

**Tabla 26***Características aspersores*

Sistema de riego	Microaspersión
Micro aspersores	Flipper
Presión Operacional	2 [bar]
Caudales	25- 43 [ l/h]
Boquilla color	Marrón 43 [l/h]
Distancia entre Flipper	3.6 [m] x 5.4 [m]
Cantidad	micro 252
aspersores	

**Determinar la Infraestructura Requerida para la Implementación del Diseño de Riego por Micro Aspersión.**

Teniendo en cuenta los datos del diseño agronómico, los datos fisicoquímicos y sobre todo las temperaturas medias y mínimas máximas de la vereda Ucata del municipio de Tona Santander, se puede deducir que el área de cultivo cuenta 547.5[m<sup>3</sup>/ha] y que la reserva fácilmente disponible es igual a la Dosis neta que es igual a la cantidad de agua que el suelo puede retener y ofrecerle al cultivo es 164,2 [m<sup>3</sup>/ha] y que el cultivo de Cebolla Junca necesita 22.727 [m<sup>3</sup>/ha] para completar su ciclo vegetativo, se seleccionó los micro aspersores de la marca Flipper, debido a que en la zona las temperaturas diarias son de 9 ° y que en temporadas se presentan heladas que han ocasionado pérdidas en los cultivos de cebolla Junca, por esta razón se implementa como método más económico de protección contra heladas para los cultivos de

hortalizas, una de las ventajas de los Flipper es que distribuye el agua en franjas muy angostas y de gran longitud cubriendo únicamente las hileras de la cebolla.

**Tabla 27**

*Infraestructura requerida*

Item	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Micro aspersor Flipper Marrón	252	un
2	Manguera agrícola Ø 3/8 [in]	900	m
3	Manguera agrícola Ø 1 [in]	200	m
4	Tubería PVC presión Ø 2 [in]	85	m
5	Válvula bola Ø 1 [in]	4	un
6	Tee	4	un
7	Reducción 2 x 1 [in]	4	un
8	Abrazadera galápago 1 x 3/8 [in]	36	un
9	Filtro 130 mesh	1	un
10	Motobomba	1	un

## Conclusiones

Es evidente la necesidad de mejorar las prácticas de riego en la agricultura colombiana, especialmente en el cultivo de cebolla junca en Tona, Santander. Las prácticas actuales son ineficientes en el uso del agua. Adaptar las técnicas de riego a las condiciones locales es clave para un riego efectivo. Conocer el clima y las necesidades de agua específicas de la región es esencial.

La microaspersión se perfila como una solución eficaz para el cultivo de cebolla junca en la región, dado su potencial para conservar el agua y elevar la calidad de las cosechas. No obstante, es importante tener en cuenta que su implementación exitosa demanda una instalación precisa de equipos y tuberías, lo cual puede conllevar costos considerables en este sistema de riego.

### Referencias Bibliográficas

- Allen, R.G.; Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).
- Ascencios, T.D. (2012). Guía Técnica “Sistema de riego en el cultivo de palto”. Recuperado de <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/031-c-palto.pdf>
- Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Programa especial para la seguridad alimentaria (PESA). Edición OCTUBRE
- Allen, R.G.; Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0)
- Bermeo Ortiz, L.A. (2020). Diseño y programación de un sistema de riego por microaspersión en el cultivo de café (*Coffea canephora*) en el campus La María. (Bachelor's thesis). Quevedo: Ecuador
- Chávez, S. (2015). Cálculo de la evapotranspiración mediante tres métodos y determinación de las necesidades de riego en los cultivos de pepino y pimiento en la finca La María. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo
- Fuentes Yague, J., & García Legaspi, G. (2004). Técnicas de riego: Sistemas de riego en la agricultura. México: Mundi-Prensa
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1995). Optimización de La Humedad del Suelo Para La Producción Vegetal: El Significado de La Porosidad del Suelo (Boletines de Suelos de la Fao). Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- Gómez, G.C., Cerrón, R.M., Capcha, T.M. y Villavicencio, C.O. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 4(2), 8
- Huertas-Carranza, B., Martínez- Lemus, E., Clímaco-Hío, J., Galindo-Pacheco, J., Pérez-Parra, M., Vargas-Díaz, R. y Polo-Murcia, S. (2020). Cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Bogotá, D. C.: Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.
- Mendoza, J., & Bermúdez, J. (2015). Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por microaspersión en café (*Coffea arábica* L.) en la ESPAM MFL. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta
- MINAGRI. (2017). Formulación de ficha técnica específica simplificada "mejoramiento del sistema de riego parcelario" (riego tecnificado).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Agricultura Campesiana, Familiar y Comunitaria. Bogotá D.C
- Núñez, A. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima
- Ojeda, L., & Del, M. (2012). Proyecto de una explotación agrícola en el T.M. de Berja (Almería). <http://repositorio.ual.es/handle/10835/872>
- Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. (2020). *Landscape Irrigation Design Manual*. <https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2018-02/IrrigationDesignManual.pdf>
- Tapia, D. (2014). Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito

Uribe C., Hamil, Maldonado I., Isaac (2000). Programación de riego ni de más ni de menos [en línea]. Tierra Adentro. no. 34. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5751>

## Apéndices

## Apéndice 1

## Resultados de muestra de suelo

Calle 16 No. 21 - 34 Bucaramanga  
Teléfono 671 62 37 Celular 315 874 0887  
lab@ganacampo.com / www.ganacampo.com



## INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA CEBOLLA LARGA - ESTABLECER

Número Registro:	6182A	Fecha:	20/02/2019
Muestra:	LOTE 1	Cliente:	JAVIER ROMAN
Finca:		Localización:	BERLIN-TONA-SANTANDER

PROPIEDADES FÍSICAS		RESULTADO
Arena (%)		56
Limo (%)		30
Arcilla(%)		14
Textura del suelo:		FRANCO ARENOSO

PROPIEDADES QUÍMICAS		REFERENCIA CON RELACION AL SUELO IDEAL
Parámetro	Unidad	RANGO ADECUADO   DEFICIENTE   OPTIMO   ALTO
pH	pH	6   7   ****
Volumétrica:		
Materia Orgánica	%	>4   *****
Carbono	%	
Aluminio (KCl 1N)	meq/100g	0,25   0,55   **
Espectrofotometría		
Fósforo (Bray II)	ppm	10   20   *****
Espectrofotometría A/E Atómica Extracción NH4OAc 1N		
Potasio	meq/100g	0,18   0,2   *****
Calcio	meq/100g	2   4   *****
Magnesio	meq/100g	0,5   1   ***
Sodio	meq/100g	0,2   0,3   **
Extracción DTPA (Linsay) absorción atómica		
Hierro	ppm	25   50   *****
Manganeso	ppm	15   25   *****
Cobre	ppm	1   2,5   *****
Zinc	ppm	3   4,5   *****

Calle 16 No. 21 - 34 Bucaramanga  
 Teléfono 671 62 37 Celular 315 874 0887  
 lab@ganacampo.com / www.ganacampo.com



**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA CEBOLLA LARGA - ESTABLECER**

Número Registro:	6182A	Fecha:	20/02/19
Muestra:	LOTE 1	Cliente:	JAVIER ROMAN
Finca:	0	Localización:	BERLIN-TONA-SANTANDER

**RESULTADO**

**EXTRACCIÓN FOSFATO MONOCÁLCICO**

Espectrofometría

Azufre (PVP) ppm 5,63  
 Boro (Azometina-H) ppm 0,22

REFERENCIA			
RANGO ADECUADO	DEFICIENTE	OPTIMO	ALTO
10	15	*****	
0,4	0,8	*****	

**COMPLEJO DE CAMBIO**

Extracción NH<sub>4</sub>OAc 1N  
 C.I.C.Efectiva meq/100g 21,3  
 Capacidad Calculada meq/100g 9,93

20	30	**	
----	----	----	--

**RELACIONES CATIONICAS**

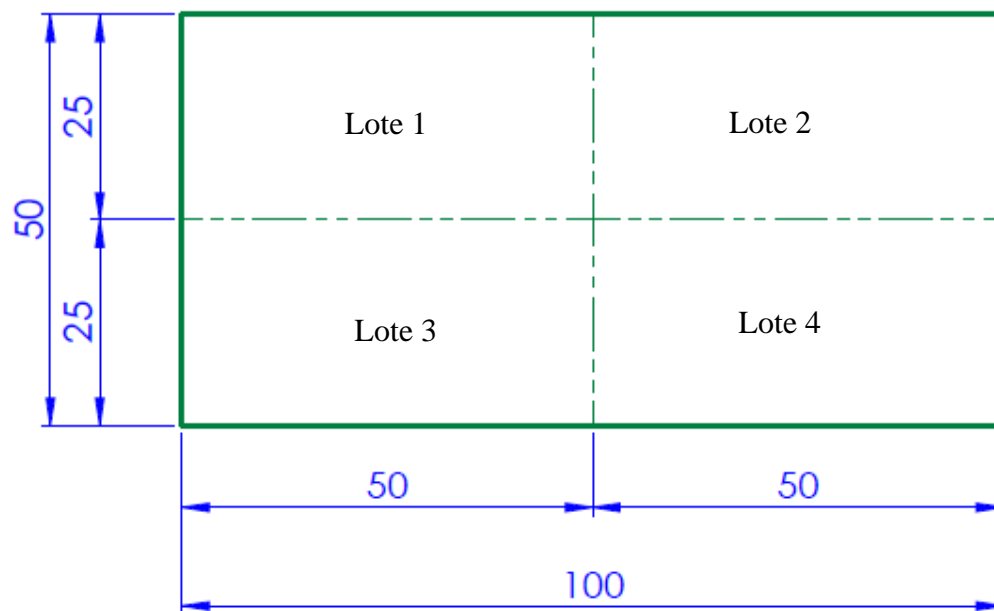
Ca/Mg 5,33  
 Ca/K 5,96  
 Mg/K 1,12  
 Ca+Mg/K 7,08  
 Saturación de Bases 46,6  
 Saturación de Aluminio 0,00


Nota: Resultados validos para la muestra analizada  
 C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico  
 N.D no detectable

**ROSA LUDY RODRÍGUEZ R.**  
 Química UIS P.Q 1734  
 Magister en Química UIS  
 Máster en Fertilizantes y Medio Ambiente UAM-España

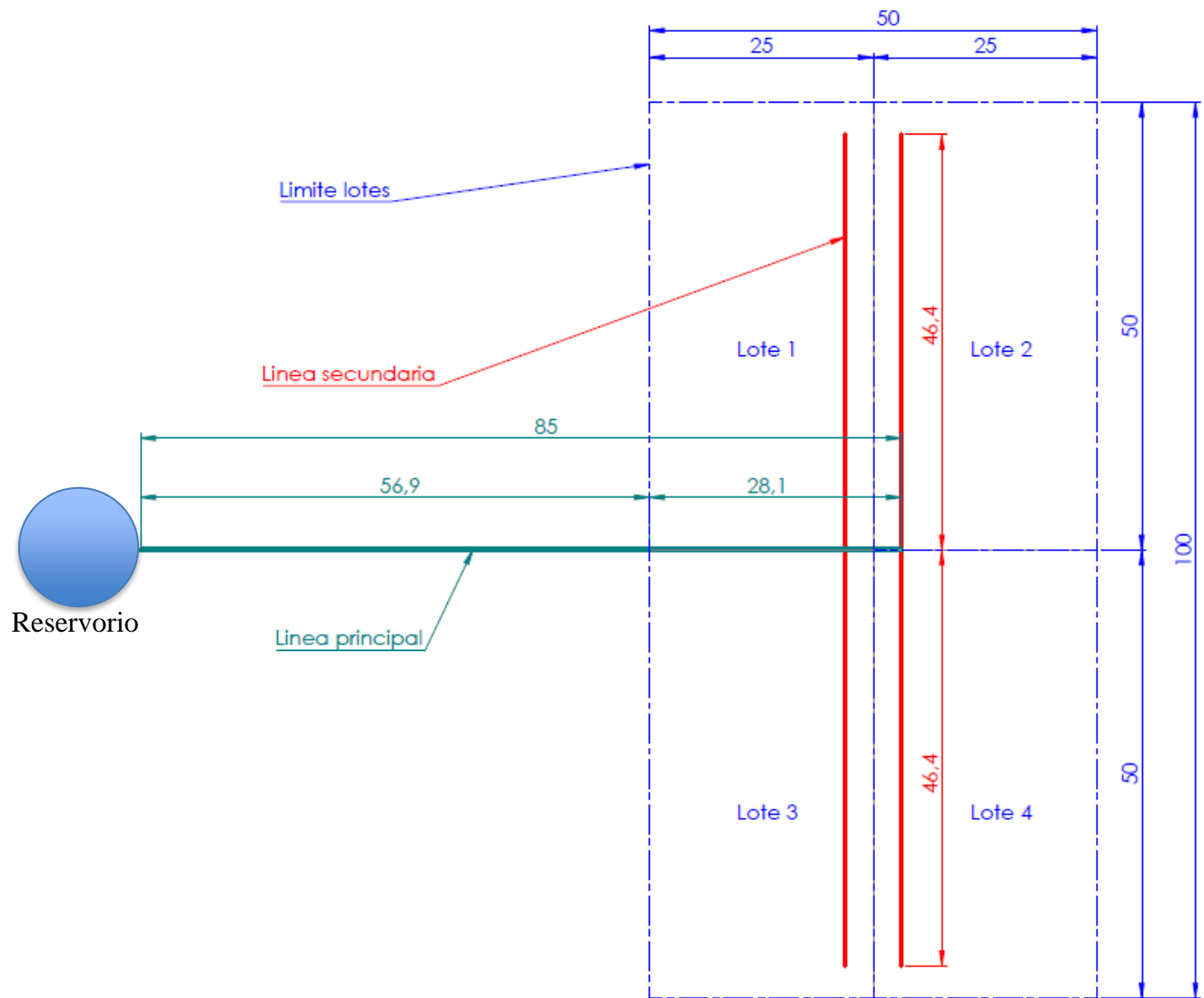
**Apéndice 2**

*División de la parcela en 4 lotes iguales*

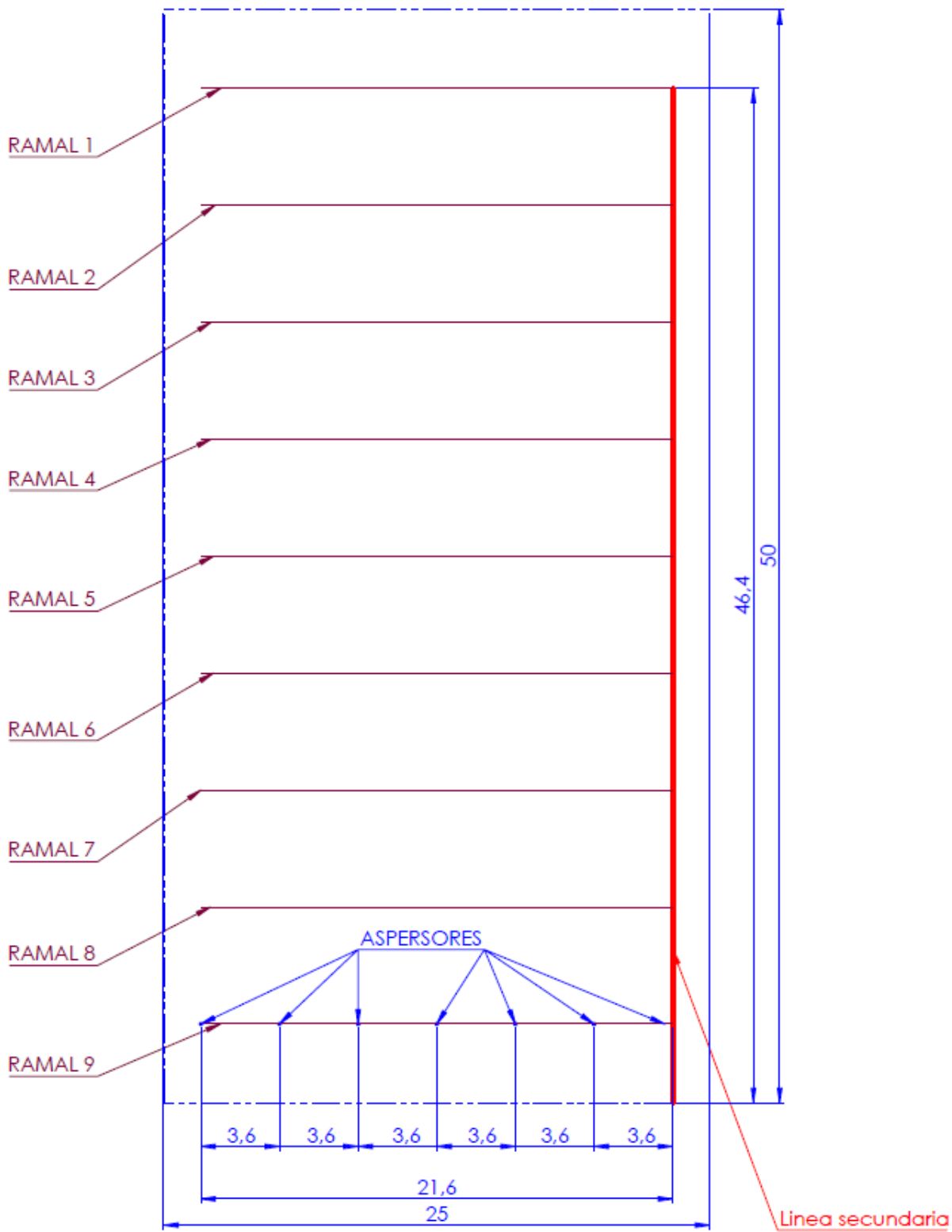


### Apéndice 3

#### Distribución aspersores



Distribución de planta Línea principal y secundaria



Distribución de planta ramales y aspersores Lote 1

## Apéndice 4

*Hora de Luz total anual*

CUADRO A2.7

**Insolación máxima diaria (N) para diferentes latitudes para el día 15<sup>vo</sup> del mes<sup>1</sup>**

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

Hemisferio Norte											
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0
1,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

<sup>1</sup> Los valores de N durante el día 15<sup>avo</sup> del mes, proveen una buena estimación (error <1%) de N promedio durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1 %.



## Apéndice 5

### *Flipper*



# FLIPPER

El método más económico de protección contra heladas para viñedos y cultivos en espalderas

#### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Distribuye el agua en franjas muy angostas y de gran longitud, cubriendo únicamente las hileras de viñas
- Ahorra hasta un 70% de agua, en comparación con los sistemas convencionales de riego con protección contra heladas por sobre las plantas
- Las gotas de gran tamaño minimizan el efecto de enfriamiento al iniciarse el sistema
- De funcionamiento seguro bajo condiciones de heladas
- Bajos volúmenes: caudal (25-40 l/h) y presiones de operación (2.0-2.5 bar)
- Posibilidad de incorporar reguladores de flujo para terrenos accidentados, o con largas hileras
- Bajos costos de instalación y bombeo
- Los senderos secos reducen el anegamiento del campo y facilitan el acceso de equipos y personal





### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Presión de operación: 2.0-3.0 bar
- Caudales: 25 - 45 l/h
- Requisitos de filtración: 120 mesh/130 micrones

### CONSEJOS PRÁCTICOS

- Asegúrese que la corriente de agua esté alineada paralelamente con las hileras de las plantas
- Es importante anclar firmemente el Flipper a la estaca de soporte
- Inicie la operación del sistema antes de alcanzarse la temperatura crítica perjudicial para las plantas
- Preste atención al punto de rocío, a fin de decidir el grado de temperatura de puesta en marcha (ver tabla)
- Detenga el sistema sólo cuando la temperatura externa permanezca constantemente por sobre 1° C

### TABLA DE RENDIMIENTO

Boquilla color	Flipper color	Caudal (l/h) (a 2 bar)	Espaciamiento (m) máximo recomendado entre Flippers**
Negro	Negro	25*	6.0
Violeta	Negro	35*	7.0
Marrón	Marrón	43*	9.0

\* Regulación 2.5-4.0 bar

\*\* Montaje a 1.0 m por sobre el blanco

### CANTIDAD DE AGUA (m<sup>3</sup>/ha/hr) REQUERIDA POR SISTEMA FLIPPER COMPARADO CON EL CONVENCIONAL 48 m<sup>3</sup>/ha/hr

Boquilla color	Viledo a espaciamiento de hileras 3.0 m	Ahorro de agua %	Viledo a espaciamiento de hileras 2.5 m	Ahorro de agua %
Negro	14.0	65	16.0	58
Violeta	16.6	58	20.0	50
Marrón	16.0	60	19.0	52

\* Cuando los Flippers están colocados al espaciamiento máximo, a una presión de 2.0 bar



© Nunniquip, Ltd. 07/2011

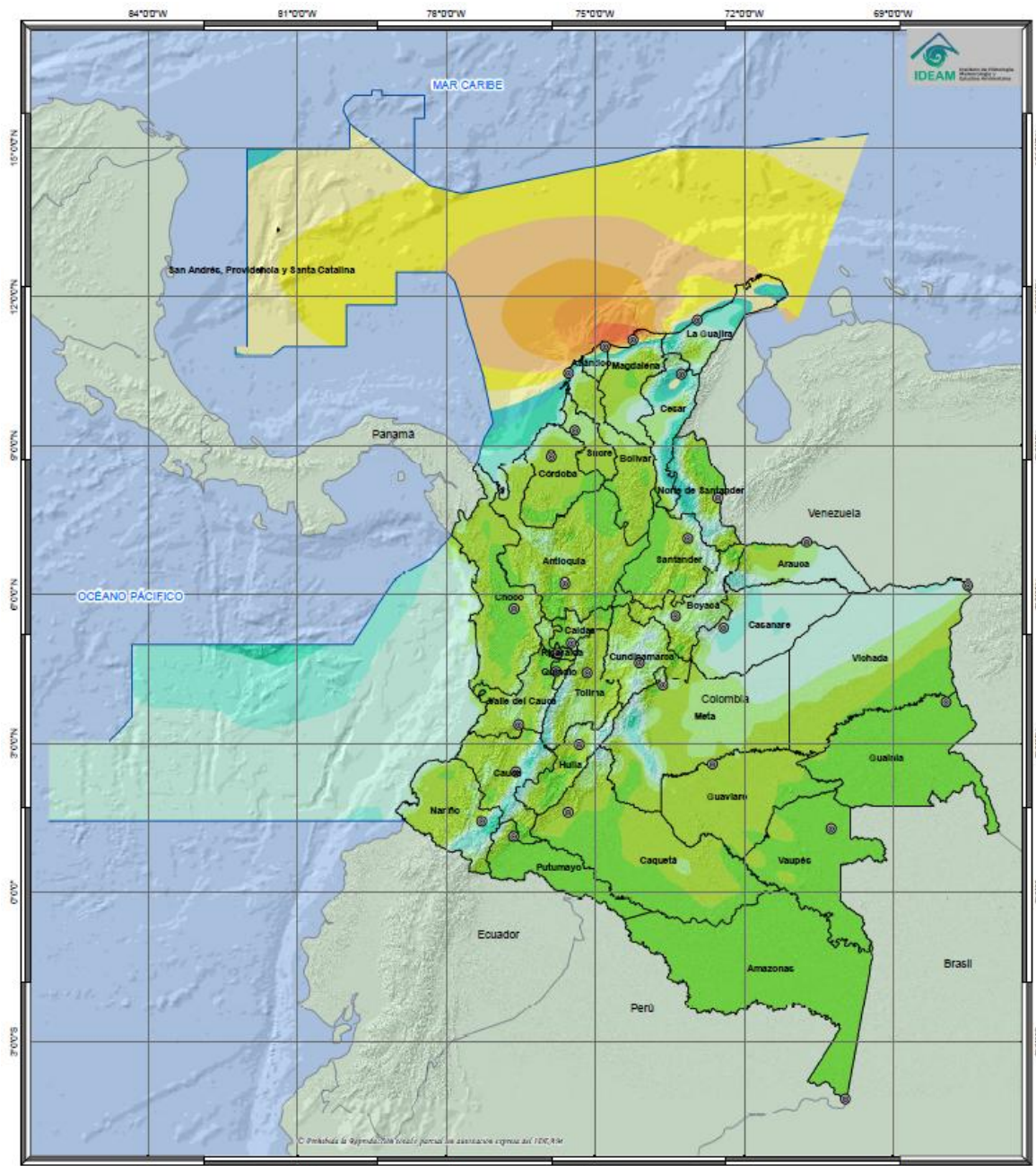
### TEMPERATURAS RECOMENDADAS DE PUESTA EN MARCHA PARA PROTECCIÓN CONTRA MELADAS A DIVERSOS PUNTOS DE ROCÍO

Temperatura de punto de rocío (°C)	-9.5	-9.0	-8.5	-8.0	-7.5	-6.5	-6.0	-5.5	-5.0	-4.5	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	-1.5
Temperatura de puesta en marcha (°C)	+4.0	+4.0	+3.5	+3.5	+3.0	+3.0	+3.0	+2.8	+2.0	+1.5	+1.5	+1.0	+1.0	+0.5	+0.5

21

# Apéndice 6

## Velocidad del viento



<p><b>INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM</b></p> <p><b>VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO A 10 METROS DE ALTURA (m/s)</b></p> <p><b>ENERO</b></p> <p><b>REPÚBLICA DE COLOMBIA 2016</b></p>	<p><b>Leyenda</b></p> <table border="0"> <tr> <td>■ -2</td> <td>■ 8 - 9</td> </tr> <tr> <td>■ 2 - 3</td> <td>■ 9 - 10</td> </tr> <tr> <td>■ 3 - 4</td> <td>■ 10 - 11</td> </tr> <tr> <td>■ 4 - 5</td> <td>■ 11 - 12</td> </tr> <tr> <td>■ 5 - 6</td> <td>■ 12 - 13</td> </tr> <tr> <td>■ 6 - 7</td> <td>■ &gt; 13</td> </tr> <tr> <td>■ 7 - 8</td> <td></td> </tr> </table>	■ -2	■ 8 - 9	■ 2 - 3	■ 9 - 10	■ 3 - 4	■ 10 - 11	■ 4 - 5	■ 11 - 12	■ 5 - 6	■ 12 - 13	■ 6 - 7	■ > 13	■ 7 - 8		<p><b>Convenciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ciudades Principales</li> <li>— Límites</li> <li>~ Límite Departamental</li> <li>~ Límite Internacional</li> <li>~ Límite Marítimo</li> </ul>	<p><b>Información de Referencia</b></p> <p>PROYECCIÓN: Conforme de Gauss</p> <p>DATUM: WAGNER - SIRGAS</p> <p>ORIGEN DE LA ZONA: BOGOTÁ</p> <p>COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 4° 35' 46,310" Lat Norte 77° 04' 36,000" Long Oeste</p> <p>COORDENADAS PLANAS: 1500 000 metros Norte 1500 000 metros Oeste</p> <p>Escala Colombia: 1:12.000.000 Escala San Andrés y Providencia: 1:12.000.000</p> <p>Fuente: Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima Subdirección de Meteorología - IDEAM Cartografía Básica IGAC</p> <p>Revisado Por: Jairo Benja Castro Geógrafo MSc. Meteorología</p> <p>© Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización expresa del IDEAM</p>
	■ -2	■ 8 - 9															
■ 2 - 3	■ 9 - 10																
■ 3 - 4	■ 10 - 11																
■ 4 - 5	■ 11 - 12																
■ 5 - 6	■ 12 - 13																
■ 6 - 7	■ > 13																
■ 7 - 8																	

## Apéndice 7

### Catálogo manguera agrícola



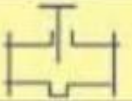



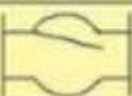
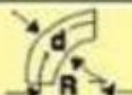
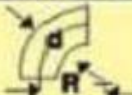
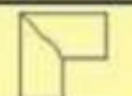

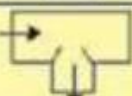

<b>LÍNEA</b>
Agrícola
<b>MODELO</b>
Manguera en Polietileno
<b>APLICACIÓN</b>
Manguera para conducción de agua por gravedad o presión, para riego en agrícola y ganadero, riego por goteo, fruticultura y horticultura
<b>VENTAJAS</b>
Manguera con acabados lisos en interior y exterior, ahorra tiempo y trabajo de instalación, muy duradera y resistente a la intemperie y bajo tierra



DATOS TÉCNICOS												
DIMENSIONES	DIÁMETRO INTERNO	N/A	N/A	N/A	N/A	3/8	1/2	3/4	1"	1" 1/4	1" 1/2	2"
		1,8mm	3mm	4mm	6mm	9,7mm	12,7mm	19mm	25,4mm	29mm	37,5mm	45,5mm
	DIÁMETRO EXTERNO	3mm	5mm	6mm	8mm	12mm	16mm	22,5mm	29mm	33mm	42,5mm	52mm
	ESPESOR DE PARED	0,6mm	1mm	1mm	1mm	1,15mm	1,65mm	1,75mm	1,8mm	2mm	2,5mm	3,25mm
PRESIÓN DE TRABAJO		90 PSI	90 PSI	90 PSI	90 PSI	90 PSI	120 PSI	120 PSI	120 PSI	120 PSI	120 PSI	120 PSI
PRESIÓN DE ROTURA		180 PSI	180 PSI	180 PSI	180 PSI	180 PSI	240 PSI	240 PSI	240 PSI	240 PSI	240 PSI	240 PSI
TOLERANCIA DIMENSIONAL		3%										
RANGO DE TEMPERATURA		Desde -10°C hasta 60°C										
CONSTRUCCIÓN		Monocapa										
MATERIAL (Interior)		Polietileno de baja densidad										
MATERIAL (Exterior)		N/A										
REFUERZO		N/A										
COLOR		Negro										
PRESENTACIÓN		Rollos de 50 y 100 metros										

## Apéndice 8

### Perdida presión accesorios PVC

Longitud equivalente de tubería en metros											
Componentes	Diámetro interior de tubería en mm (d)										
	25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula de bola abierta 100% 	0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.8 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válv. dia. fragma abierta 100% 	1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válv. angular abierta 100% 	4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo 	7.5	12	15	24	30	36	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta 	2.0	3.2	4.0	5.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R=2d 	0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R=d 	0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90° 	1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T, salida en línea 	0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T, salida angular 	1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor 	0.5	0.7	1.0	2.0	2.6	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.8

## Apéndice 9

### Catálogo PVC presión

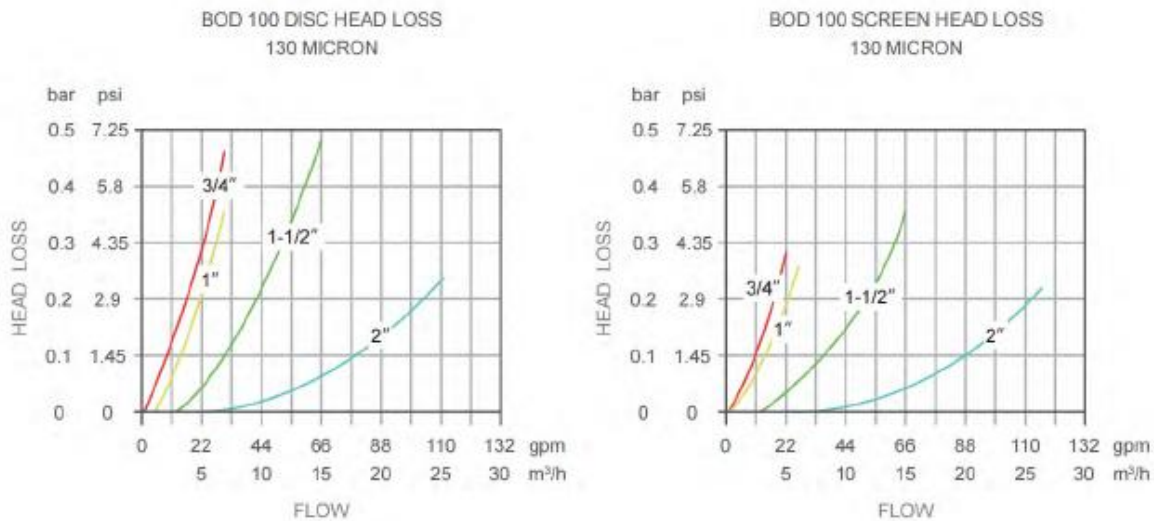
#### Tuberías Presión PAVCO WAVIN

Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22
60	2	2900246	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.70
73	2.1/2	2900248	964	73.0	2.87	2.79	0.11	67.45
88	3	2900251	1438	88.9	3.50	3.43	0.13	82.04
114	4	2900254	2376	114.3	4.50	4.39	0.17	105.52
168	6	2904617	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
88	3	2900256	1157	88.9	3.50	2.74	0.11	83.42
114	4	2900258	1904	114.3	4.50	3.51	0.14	107.28
114	4	2900261	1535	114.3	4.50	2.79	0.11	108.72

Para Tuberías de 8", 10", 12", 14", 16", 18" y 20" de diámetro véase nuestro Manual Técnico Unión Platino. La longitud normal de los tramos es de 6mt. La Tubería no debe roscarse.

**Apéndice 10**

*Catalogo filtro BOWNT BOD 100 Series Filter*



Model Modelo	Connection Conexión		Dimensions Dimensiones			Weight Peso (g)
	A	B	W	X	D	
D100D20B130	3/4" BSP	3/4" BSP	6.77	4.33	7.44	276
D100D20N130	3/4" NPT	3/4" NPT	172	110	189	
D100D25B130	1" BSP	1" BSP	7.2	4.33	7.68	282
D100D25N130	1" NPT	1" NPT	183	110	195	
D100D40B130	1-1/2" BSP	1-1/2" BSP	8.3	4.8	9.13	392
D100D40N130	1-1/2" NPT	1-1/2" NPT	211	122	232	
D100D50B130	2" BSP	2" BSP	9.6	6.73	12.28	650
D100D50N130	2" NPT	2" NPT	244	171	312	
D100S20B130	3/4" BSP	3/4" BSP	6.77	4.33	7.44	196
D100S20N130	3/4" NPT	3/4" NPT	172	110	189	
D100S25B130	1" BSP	1" BSP	7.2	4.33	7.68	198
D100S25N130	1" NPT	1" NPT	183	110	195	
D100S40B130	1-1/2" BSP	1-1/2" BSP	8.3	4.8	9.13	312
D100S40N130	1-1/2" NPT	1-1/2" NPT	211	122	232	
D100S50B130	2" BSP	2" BSP	9.6	6.73	12.28	570
D100S50N130	2" NPT	2" NPT	244	171	312	



## Apéndice 11

Catalogo Bomba Barnes



## BOMBAS GS

con motor eléctrico

### GE 1.5C 20-4/30-4/50-4

Modelo	Ref.	Potencia (HP)	Voltaje	H max. (mca) *	Q max. (GPM) **	Succión	Descarga	Peso (kg)
GE 1.5C 20-4	1B0238	2.0	220/440	17	105	2"	1-1/2"	56.0
GE 1.5C 30-4	1B0239	3.0	220/440	23	117	2"	1-1/2"	60.0
GE 1.5C 50-4	1B0240	5.0	220/440	30	136	2"	1-1/2"	66.0

\* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).

\*\* El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).



Materiales	
Cuerpo	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 30
Impulsor	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 30
Sello mecánico	Carbon/Ceramica/Buna-N
Acople intermedio	Hierro fundido ASTM A-48, Clase 30
Empaques	Papel Humedo

Características de la bomba	
Tipo de bomba	Centrífuga
Tipo de acoplamiento	Monobloque
Succión	2" NPT
Descarga	1-1/2" NPT
Tipo de impulsor	Cerrado <small>Balancado dinámicamente según ISO 9813</small>
Cantidad de impulsores	1
Tipo de sello	Sello mecánico 1-1/4" TIPO 21
Temperatura Max. Líquido	158° F (70 ° C) Continua

Características del Motor	
Tipo	Eléctrico
Potencia	1.0 a 5.0Hp(según modelo)
Diseño	NEMA JM
Velocidad	1.750 RPM (nominal)
Aislamiento	Clase F
Voltaje	220/440
Factor de servicio	1, 15
Frecuencia	60Hz
Fases	3

Aplicaciones	
Y	Aprovisionamiento de aguas limpias
Y	Recirculación de agua en torres de enfriamiento
Y	Refrigeración de maquinaria/Circuitos de recirculación
Y	Sistemas de Presión
Y	Equipos contra incendio
Y	Plantas de tratamiento
Y	Equipos de trabajo pesado y continuo
Y	Industria petroquímica
Y	Acueductos

