

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ciencias de la Vida.**

Diseño de un sistema de fertirriego para la aclimatación de plantas  
meristemáticas de musáceas en fase 1 bajo invernadero

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **INGENIERO AGRÍCOLA Y BIOLÓGICO**

Presentado por:

Luis Felipe Correa González

Melissa Daniela Aguilera Chuchuca

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis padres y hermanas por ese apoyo incondicional que me ayudaron a seguir adelante con este trabajo.

A mis amigos que aportaron alegría y diversión en toda esta etapa de formación.

**Melissa Aguilera Chuchuca**

El presente proyecto lo dedico a Dios, mi madre mujer de lucha que dio a cada uno de sus hijos su noble corazón, mi padre quien siempre me motivo a creer en mis capacidades, mis hermanas que velaron por mi bienestar en todo momento y miembros de mi familia que se adelantaron de este mundo terrenal, que aportaron un granito de arena a cada etapa de mi vida, mis compañeros, amigos y personas especiales que sonrieron y lloraron, compartieron buenos momentos que solo quedan en el recuerdo de cada uno.

Y a mis profesores que supieron guiar un espíritu ansioso de conocimiento, reacio pero humano al fin de cuentas, con ganas de creer en los frutos que cosecha el hombre de la tierra.

**Luis Felipe Correa G**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a todos los profesores de la institución por la paciencia y sinceridad para formarnos y ser buenos profesionales en el futuro. Y agradezco a mis amigas por ayudarme a no desviarme hasta la meta final y brindar alegría en el camino.

**Melissa Aguilera Chuchuca**

Mi agradecimiento a todos los docentes de esta noble institución quienes, supieron guiar cada etapa de formación con tesón y sapiencia así mismo a mis compañeros que compartimos cada momento y cada sonrisa, deseándoles un futuro exitoso y esperando volvernos a encontrar en la vida profesional.

**Luis Felipe Correa G**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Felipe Correa González & Melissa Daniela Aguilera Chuchuca* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Luis Felipe Correa  
González

Melissa Daniela Aguilera  
Chuchuca

## **EVALUADORES**

**María Isabel Jiménez Feijoo PhD.**

PROFESOR DE LA MATERIA

**Jaime Luis Proaño Saraguro MSc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El Ecuador posee un 12.4% de superficie dedicadas a la producción de banano, donde la mayor producción de esta se encuentra en la provincia de Los Ríos con un 43,23% y en la provincia del Guayas con un 32,76%. Las musáceas no presentan una reproducción por semilla que garantice su existencia a través del tiempo por lo que existen laboratorios como Sebioca que se encargan de su propagación por el método in vitro en donde pasan luego a un invernadero para adaptarse al clima exterior. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es de diseñar un sistema de fertirriego para la aclimatación de plantas meristemáticas de musáceas en fase uno bajo invernadero. Para esto se realizó un diseño agronómico, el cual consistió en calcular la evapotranspiración del cultivo para conocer la lámina y hora de agua necesaria para las plántulas, además de calcular los gramos de fertilizantes requeridos por las mismas. Por otro lado, se realizó el diseño hidráulico para conocer la pérdida de carga de una tubería ( $h_f$ ) y el factor de salida ( $F$ ) y así tener en cuenta la presión final del fluido. Por otra parte, se midió tasa de mortalidad y la comparación del consumo de agua actual versus el sistema propuesto. Con esta información se obtuvo que la lámina de riego necesaria por día es de 1.2mm y se regará 3 turnos/día durante 2.03min/turno, el emisor que se recomendó para utilizar en el invernadero fue nebulizadores de 4 boquillas. Además, el volumen de agua utilizada por mes en el riego convencional fue de 24 m<sup>3</sup>/mes, mientras que por medio del riego automatizado fue de 13 m<sup>3</sup>/mes. En conclusión, de acuerdo con los datos obtenidos en la evaluación al comparar las labores de riego manual versus las labores con el sistema de riego, se obtiene un ahorro del 46% del recurso hídrico así mismo como una disminución de \$5 en gastos de agua al mes.

**Palabras Clave:** Musáceas, fase uno, invernadero automatizado, fertirriego.

## **ABSTRACT**

*Ecuador has a 12.4% area dedicated to banana production, where the highest production of this is in the province of Los Ríos with 43.23% and the province of Guayas with 32.76%. The Musaceae do not have a reproduction by seed that guarantees their existence over time so there are laboratories such as Sebioca that are responsible for their propagation by the in vitro method where they then pass a greenhouse to suffer the outside climate. Therefore, the objective of this project is to design a fertigation system for the acclimatization of meristematic plants of Musaceae in primary hardening under the greenhouse. For this, an agronomic design was carried out, which consists of calculating the evapotranspiration of the crop to know the sheet and the time of the water necessary for the seedlings, in addition to calculating the grams of fertilizers required by them. On the other hand, the hydraulic design was performed to know the loss of a load of a pipe ( $hf$ ) and the output factor ( $F$ ) and thus take into account the final fluid pressure. On the other hand, the mortality rate and the comparison of current water consumption were measured versus the proposed system. With this information, it is required that the irrigation sheet needed per day is 1.2mm and will be watered 3 shifts/day for 2.03min / shift, the emitter that was recommended for use in the greenhouse was 4 nozzle nebulizers. Also, the volume of water detected per month in conventional irrigation was 24 m<sup>3</sup> / month, while the automated irrigation medium was 13 m<sup>3</sup> / month. In conclusion, according to the data obtained in the evaluation when comparing the manual irrigation work versus the work with the irrigation system, a saving of 46% of the water resource is obtained as well as a reduction of \$5 in expenses of water per month*

**Keywords:** *Musaceae, primary hardening, automated greenhouse, fertigation.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| EVALUADORES .....                                                   | V    |
| RESUMEN .....                                                       | I    |
| ABSTRACT .....                                                      | II   |
| ÍNDICE GENERAL .....                                                | III  |
| ABREVIATURAS .....                                                  | VI   |
| SIMBOLOGÍA .....                                                    | VII  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                             | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                              | IX   |
| CAPÍTULO 1 .....                                                    | 1    |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                               | 1    |
| 1.1 Descripción del problema .....                                  | 1    |
| 1.2 Justificación del problema .....                                | 2    |
| 1.3 Objetivos .....                                                 | 2    |
| 1.3.1 Objetivo General .....                                        | 2    |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....                                   | 2    |
| 1.4 Marco teórico .....                                             | 2    |
| 1.4.1 El cultivo de banano en el Ecuador .....                      | 2    |
| 1.4.2 Propagación del banano .....                                  | 3    |
| 1.4.3 Fase 1 o fase de aclimatación .....                           | 6    |
| 1.4.4 Factores de alta importancia en la fase de aclimatación ..... | 6    |
| 1.4.5 Requerimientos edafológicos y nutricionales .....             | 7    |
| 1.4.6 Sistemas de riego para invernaderos .....                     | 8    |
| 1.4.7 Fertiirrigación .....                                         | 8    |
| 1.4.8 Calidad de agua .....                                         | 10   |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO 2 .....                                                                       | 11 |
| 2. Metodología .....                                                                   | 11 |
| 2.1 Área de estudio:.....                                                              | 11 |
| 2.2 Programa de riego y fertirriego .....                                              | 11 |
| 2.2.1 Diseño Agronómico .....                                                          | 11 |
| 2.2.2 Análisis de la calidad del agua .....                                            | 13 |
| 2.2.3 Cálculo de fertilizantes .....                                                   | 14 |
| 2.3 Plano del diseño físico del sistema de riego y fertirriego .....                   | 15 |
| 2.3.1 Diagnóstico del Área de estudio.....                                             | 15 |
| 2.3.2 Diseño Hidráulico .....                                                          | 17 |
| 2.4 Curvas de crecimiento de musáceas vs condiciones climáticas.....                   | 18 |
| 2.4.1 Medición de parámetros morfológicos de las plántulas.....                        | 18 |
| 2.4.2 Tasa de Mortalidad.....                                                          | 18 |
| 2.4.3 Comparación del consumo de agua actual versus el proyectado. ....                | 19 |
| CAPÍTULO 3 .....                                                                       | 21 |
| 3. Resultados Y ANÁLISIS.....                                                          | 21 |
| 3.1 Programa de riego y fertirriego .....                                              | 21 |
| 3.1.1 Diseño agronómico .....                                                          | 21 |
| 3.1.2 Análisis de la calidad de agua.....                                              | 21 |
| 3.1.3 Cálculo de fertilizantes .....                                                   | 22 |
| 3.2 Plano del diseño físico del sistema de riego y fertirriego .....                   | 22 |
| 3.2.1 Diagnóstico del área de estudio .....                                            | 22 |
| 3.3 Diseño hidráulico del proyecto.....                                                | 23 |
| 3.4 Crecimiento de musáceas versus condiciones climáticas bajo invernadero.            | 24 |
| 3.4.1 Tasa de mortalidad.....                                                          | 24 |
| 3.4.2 Comparación de riego actual versus riego proyectado sistema de nebulización..... | 24 |

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| CAPÍTULO 4 .....                       | 26 |
| 4. Conclusiones Y Recomendaciones..... | 26 |
| Conclusiones .....                     | 26 |
| Recomendaciones .....                  | 26 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                      | 27 |
| APÉNDICES .....                        | 29 |

## **ABREVIATURAS**

|         |                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| ESPOL   | Escuela Superior Politécnica del Litoral                    |
| SEBIOCA | Sociedad Ecuatoriana de Biotecnología                       |
| PIB     | Producto Interno Bruto                                      |
| FIMCP   | Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción |
| UTM     | Universal Transverse Mercator                               |

## SIMBOLOGÍA

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| ha                            | Hectáreas                   |
| mg                            | Miligramo                   |
| pH                            | Potencial de Hidrógeno      |
| m                             | Metro                       |
| °C                            | Celsius                     |
| N                             | Nitrógeno                   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Óxido de fósforo            |
| K <sub>2</sub> O              | Óxido de potasio            |
| Zn                            | Manganeso                   |
| Fe                            | Fósforo                     |
| Mn                            | Manganeso                   |
| Co                            | Cobalto                     |
| B                             | Boro                        |
| Mo                            | Molibdemo                   |
| Ds/m                          | Decisiemens por metro       |
| μS/cm                         | Microsiemens por centimetro |
| mS/cm                         | Milisiemens por centimetro  |
| CE                            | Conductividad eléctrica     |
| W/m <sup>2</sup>              | Watt por metro cuadrado     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 Datos meteorológico de estación de termo fluidos .....   | 13 |
| Figura 2.2 Medidor de conductividad .....                           | 14 |
| Figura 2.3 Camas que se utilizó para el método volumétrico .....    | 16 |
| Figura 2.4 Manómetro acoplado a la tubería principal de 32 mm ..... | 17 |
| Figura 2.5 Camas en las que se realizó el muestreo. ....            | 19 |
| Figura 3.1 Ilustración del volumen y costo de agua .....            | 25 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1 Tabla de compatibilidad de fertilizantes .....                              | 9  |
| Tabla 2.1 Etapas de necesidades de fertilizantes.....                                 | 14 |
| Tabla 2.2 Datos del sistema de riego para el cálculo hidráulico .....                 | 17 |
| Tabla 2.3 Rango de consumo de agua potable .....                                      | 20 |
| Tabla 3.1 Resultado del diseño agronómico.....                                        | 21 |
| Tabla 3.2 Resultados del análisis de agua .....                                       | 21 |
| Tabla 3.3 Principales fertilizantes con sus respectivos gramos .....                  | 22 |
| Tabla 3.4 Valor de ajuste en la pérdida de carga por fricción con su factor de salida | 23 |
| Tabla 3.5 Volumen y costo del agua en diferentes sistemas de riego .....              | 24 |

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador posee un 12.4% de superficie dedicadas a la producción de banano, donde la mayor producción de esta se encuentra en la provincia de Los Ríos con un 43,23% y en la provincia del Guayas con un 32,76%. (INEC - ESPAC, 2018). El 3.84% del Producto Interno Bruto (PIB) de la economía del país corresponde a la exportación de banano, por otra parte, nuestro banano compite con países vecinos como Perú, Colombia y centroamericanos como Costa Rica (Arias Gavilanez, 2014).

Para que un cultivo de musáceas se considere rentable deben tener extensiones mayores a 50 hectáreas para obtener una ratio de conversión de 0,9 es decir que por cada planta el 90% del racimo se convierte en una caja de banano para la exportación. Según Magdama (2019), en las plantaciones de banano se deben realizar manejos técnicos para lograr rendimientos entre 1500 cajas/ha hasta 3000 cajas/ha.

La Sociedad Ecuatoriana de Biotecnología (Sebioca) empresa ubicada en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), de la ciudad de Guayaquil, es la encargada del desarrollo y propagación de plantas meristemáticas de musáceas, mediante la replicación in vitro, las cuales son llevadas a invernadero para lograr su aclimatación, donde pasan de ser organismos heterótrofos a organismos autótrofos, para luego trasplantarlas a campo. En vista de que las musáceas no presentan una reproducción por semilla que garantice su existencia a través del tiempo, Sebioca se encarga en su replicación in vitro. Estas técnicas de replicación permiten tener altura y peso del racimo de forma uniforme, y una producción óptima llegando a 3000 cajas/ha (Ramón Vera, 2014).

### 1.1 Descripción del problema

En la actualidad el invernadero de Sebioca para musáceas en fase 1, el riego lo manejan de forma manual ya que el sistema de fertirriego presenta problemas técnicos, además el sistema de riego necesita ser renovado ya que llevan con el mismo modelo por más de 20 años aproximadamente. Se debe agregar que no poseen un control de variables climáticas por lo que las posibilidades de obtener pérdidas de plántulas por estrés térmico y/o presencia de enfermedades como hongos, dando como resultado deficiencia en el desarrollo.

## **1.2 Justificación del problema**

Ante los problemas vistos anteriormente, surge la propuesta de diseñar el sistema de invernaderos para la aclimatación de plantas de banano en la fase 1 implementando tecnologías actuales, como sistemas automatizados de fertirrigación, un control automatizado de las variables ambientales del invernadero, todo esto mediante un sistema de redes eléctricas eficientes enfocadas a elementos como paneles solares, disminuyendo el uso de combustibles fósiles en la cadena de producción de plantas de banano.

Este diseño permitirá tecnificar y garantizar un óptimo proceso de aclimatación, nutrición y control de las plántulas, así como evitar pérdidas de plántulas debido a variables climáticas perjudiciales para las musáceas, todo esto en tiempo real de manera automatizada, mediante el uso de sistemas de fertirrigación automatizados, donde sean accionados por circuitos autónomos y alimentados mediante una eficiente red eléctrica

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de fertirriego para la aclimatación de plantas meristemáticas de musáceas en fase 1 bajo invernadero.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un programa de riego y fertirriego para suplir las demandas nutricionales de las musáceas.
- Elaborar un plano del sistema de riego con los componentes que se van a utilizar para su futura implementación.
- Analizar la relación entre las variables climáticas del invernadero con el crecimiento de las plantas en fase 1.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 El cultivo de banano en el Ecuador.**

Su centro de origen se considera en el Sureste asiático, en sus primeras etapas se utilizaba solo la hoja como envoltura para los alimentos, y sus frutos presentaban un número alto de semillas, con el pasar del tiempo se obtuvieron plantas sin semilla (soto, 1994)

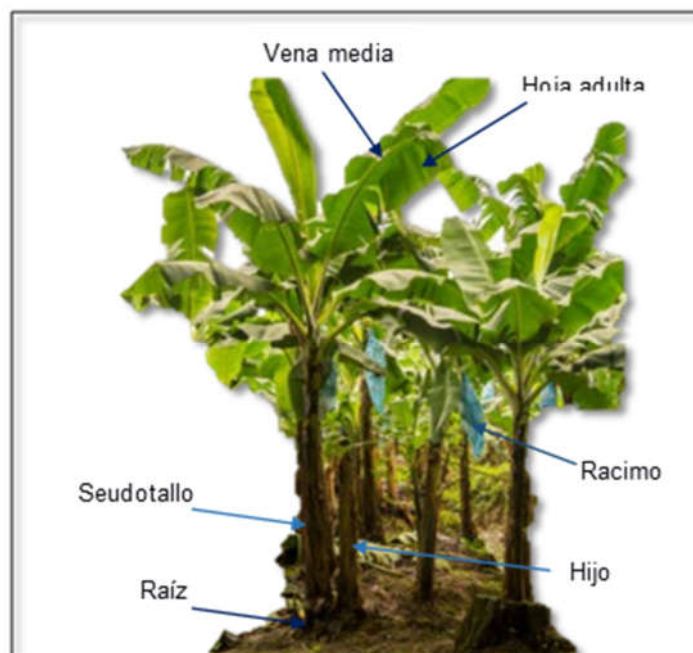
Las áreas de mayor presencia del cultivo en el Ecuador son la zona litoral como: Guayas, Los Ríos y el Oro siendo estas zonas las que poseen rendimientos significativos para la satisfacer la demanda interna y exportar el fruto hacia mercados extranjeros. Existen tres formas de manejo en el cultivo: No tecnificado semi tecnificado y tecnificado, los rendimientos promedio del país son 1700 cajas/ ha /año

Según lo menciona Martínez (1997) cuando se procede a realizar renovaciones de un 25% del total de la finca por cada año se consigue un aumento de hasta 700 cajas/ ha /año es decir si se tenía una producción de 1700 cajas/ ha /año mediante la renovación se pueden obtener de 2400 a 2800 cajas/ ha /año.

Para esto es importante que el material con el cual se pretenda realizar la renovación tenga una alta calidad vegetativa y sea capaz de adaptarse a la zona donde se va a establecer es por esto, que en la fase 1 debe se pone especial cuidado en los factores climáticos que puedan afectar a la capacidad fotosintética de la planta.

#### 1.4.2 Propagación del banano

Existen dos maneras de replicación de banano, para el cultivo en ambos casos son de carácter asexual, debido a que no presentan semillas. La técnica de expansión más conocida por los agricultores es la propagación mediante hijos, que consiste en la obtención de nuevas plantas mediante el uso de “Hijos” tomando de la planta madre, todo esto se da desde la parte central del cormo y se hace a manera de callos como se ilustra en la figura 1.1.



## **Figura 1.1 Partes de una planta de banano**

**Fuente: Creado por el autor**

Cuando los nuevos rizomas emergen separados de la planta primaria o planta madre, se lo denomina “hijo”, de aquí se puede obtener nuevas plantas hijas para ser replicadas más adelante en la plantación, ya sean para actividades de expansión del cultivo o de remplazar alguna planta enferma.

Un proceso de vital importancia previo a la replicación de las plantas hijas es la selección por sus características fisiológicas, buscando pseudotallos vigorosos con hojas de espada y estrechas, o “mal hijos” pseudotallos estrechos, rizomas cortos y estrechos, y con hojas anchas, (Galán, y otros, 2018) donde los “mal hijos” son apartados de la planta madre para evitar la pérdida de nutrientes por traslocación para luego ser incorporados al suelo como materia orgánica, en caso de que no existan antecedentes de plantas madres enfermas, debido a que estaríamos creando una fuente de inóculo para la presencia de patógenos en la plantación.

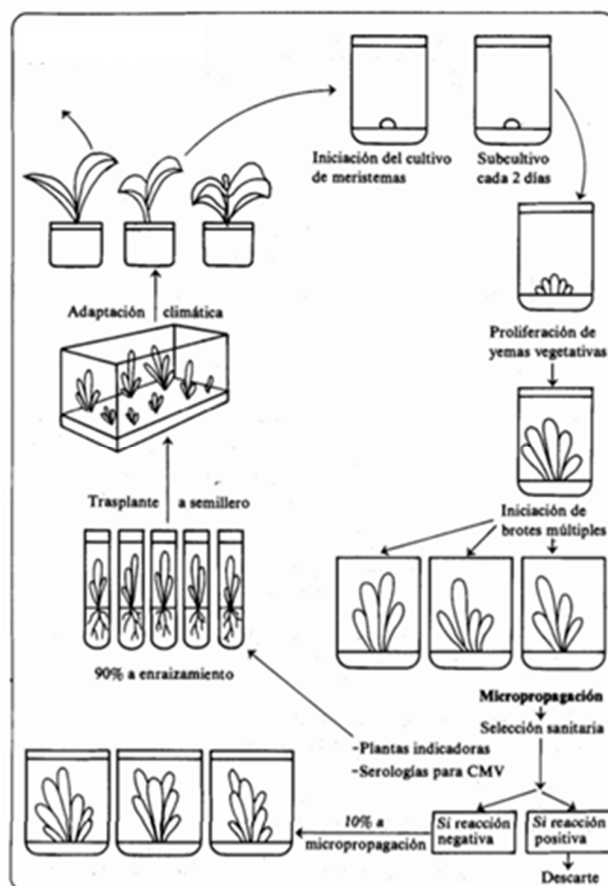
Cuando se decide realizar plantaciones de musáceas se puede recurrir a fuentes de manera convencional, como son viveros o áreas destinadas a la máxima producción de plantas por unidad de área (Galán, y otros, 2018) la segunda opción es obtener hijos a partir de un lote ya establecido, pese a tener sus ventajas en cuanto a costos, debido a que no se incurre en gastos por adquirir nuevas plantas, esto representa problemas según el experimento de (Eckstein & Robinson , 1995) en el cual se evalúa las actividades fotosintéticas de plantas replicadas de manera tradicional versus vitro plantas, en donde las vitro plantas presentan una mayor actividad fotosintética, y por ende una mayor capacidad para generar área foliar, traducéndose así a una mejor entrada de energía, para el futuro llenado del racimo.

Para la sanidad de la plantación, replicar plantas de manera tradicional representa un riesgo mayor, debido a que no se toma en consideración la presencia de nematodos y otros organismos patógenos alojados en el suelo.

### **1.4.2.1 Micropropagación**

Dentro de las herramientas de biotecnológicas aplicadas a la agricultura, la micropropagación ayuda a la obtención de plantas, de manera tecnificada todo esto bajo condiciones controladas mediante medios específicos de cultivos de acuerdo con la planta que se desee replicar y sus requerimientos (Olmos, Galdeano, & Luciani, 2010)

para realizar esta técnica es importante seleccionar las plantas que presenten sus características ideales fenotípicas es decir, un buen diámetro del pseudotallo, peso de racimo, tolerante a enfermedades y una gran capacidad fotosintética traducida en hojas grandes y vigorosas.



**Figura 1.2 Micropropagación de banano**

**Fuente: (Angarita & Perea, s.f.)**

Como se ilustra en la figura 1.2, la micropropagación pasa por diferentes etapas hasta llegar a la etapa de adaptación o climatización, se debe de agregar que en esta etapa se divide en dos fases, conocidas como fases de endurecimiento: fase 1 (semillero) y fase 2 (fundas plásticas individuales) (Sathes, 2010). Es en la fase 1 donde las plántulas deben conservarse en condiciones climáticas adecuadas para su óptimo desarrollo. Una de las variables climáticas a considerar es la humedad relativa que debe tener un mínimo de 90% por una semana aproximadamente, y luego se lo reduce progresivamente hasta llegar al 60% de humedad (Angarita & Perea, 2001). Según Smith (1986), el monitoreo de la humedad permite que las plántulas controlen las pérdidas y

absorción de agua. Por otro lado, la temperatura no debe ser menor a 20°C ni mayor a 35°C, por lo tanto, debe ser regulado por un sistema de nebulizadores o de enfriamiento (Galán, y otros, 2018). De esta manera evitamos que la superficie foliar de las plántulas no presente estrés térmico, ni que su capacidad fotosintética disminuya. (Galán Saúco & Robinson, 2013)

#### **1.4.3 Fase 1 o fase de aclimatación.**

En esta fase primera es donde la plántula pasa del laboratorio, en un ambiente heterótrofo, donde se le proporciona nutrientes mediante sustratos para el desarrollo in vitro, a cumplir su función autótrofa de generar su propio alimento mediante la fotosíntesis. Estas plántulas deben estar en un ambiente controlado por cinco semanas, con intensidad lumínica mayor a 10000 lux y con el fotoperiodo de acuerdo con las características del cultivo (Hurtado & Merino, 1897)

#### **1.4.4 Factores de alta importancia en la fase de aclimatación.**

##### **1.4.4.1 Calidad del material vegetal.**

Previo a la fase de aclimatación, se puede encontrar factores que impiden el adecuado crecimiento y desarrollo de las plántulas, el medio de cultivo y como se compone este. Así como las horas luz a las cuales se somete en el laboratorio entre otros. Cuando se da el crecimiento de las vitro-plantas no se realiza de manera uniforme debido a que no todas presentan el mismo grado de desarrollo es por esto por lo que se recomienda clasificarlas por tamaño logrado para la fase de aclimatación. (Argelys, 2008)

##### **1.4.4.2 Factores ambientales**

La presencia del riego y el control temprano de plagas o posibles enfermedades, así como la fertilización diferenciada por sus etapas de crecimiento, son factores que se deben manejar de la forma más técnica posible para disminuir, la influencia de variables no controladas dentro de los procesos de aclimatación y desarrollo.

La fotooxidación o destrucción de la clorofila y la pérdida de realizar de manera estable la fotosíntesis es producida por una alta intensidad lumínica, provocando pérdidas en la incorporación de biomasa, estos problemas se presentan debido a un brusco cambio de la intensidad lumínica, generando factores ambientales de estrés.

La temperatura y la humedad relativa son factores importantes que se deben conocer ya que a altas temperaturas la planta aumenta su transpiración por lo que

absorbe más agua y cuando la humedad relativa es alta la planta disminuye las pérdidas de agua (Briceño, 2012).

#### **1.4.4.3 Instalaciones para aclimatación.**

- **Invernaderos con condiciones no controladas**

Estos pueden ser de plástico o de vidrio, dependiendo del presupuesto de implementación, pero a manera estandarizada presentan estructuras de tubos galvanizados, o madera.

Los problemas que presentan este tipo de estructuras son, la ausencia en el control de la temperatura, esto se puede dar debido a una excesiva temperatura de la zona, la ausencia de sistemas de enfriamiento y no tener una sombra interior que permita controlar la intensidad lumínica, según el cultivo lo demande.

- **Invernaderos con condiciones controladas.**

Son instalaciones que buscan incorporar el desarrollo tecnológico, para realizar una agricultura tecnificada, optimizando recursos, incorporando sensores de humedad relativa, luz y temperatura.

#### **1.4.5 Requerimientos edafológicos y nutricionales**

De acuerdo con Galán y otros (2018), el sustrato donde las plántulas se van a desarrollar en su fase de endurecimiento debe tener las siguientes características: porosidad entre 10 y 25%, capacidad de campo en 45% y un pH entre 5.5 y 6.5. Con respecto a la fertilización se recomienda aplicarlo de forma foliar siguiendo una solución completa de Hoagland, también se puede aplicar fertilizantes foliares completo que se encuentra en el mercado (Angarita & Perea, 2001).

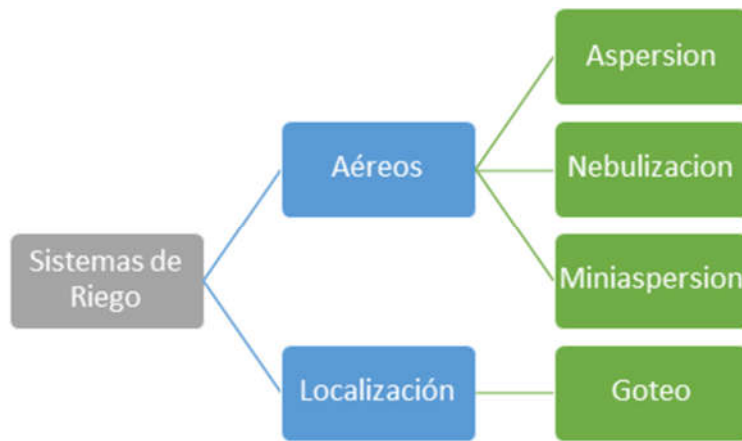
**Tabla 1.1 Macroelementos para banano en fase 1**

| <b>Macro y micronutrientes</b> | <b>Cantidad [%]</b> |
|--------------------------------|---------------------|
| N                              | 2.37                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.07                |
| K <sub>2</sub> O               | 1.14                |
| Zn                             | 3                   |
| Fe                             | 2.5                 |
| Mn                             | 1                   |
| Cu                             | 1                   |
| B                              | 0.5                 |
| Mo                             | 0.1                 |

**Fuente: (Shailesh & Kothari, 2007)**

#### 1.4.6 Sistemas de riego para invernaderos

Existen diversos tipos de sistemas de riego para invernadero que se debe de considerar varios factores para seleccionar el correcto, como por ejemplo la ubicación del cultivo, tipo de especie deseada a cultivar, temperatura, humedad relativa y reservas de agua (Montserrat, 2005).



**Figura 1.3 Tipos de sistemas de riego para invernadero**

Nebulizadores son apropiado para la producción de replantes, vitroplantas, semilleros debido a que ofertan gotas en micrones los cuales, representan un sistema ideal para plantas de alta fragilidad, debido a un escaso volumen del sustrato en el que están establecidas (Montserrat, 2005)

#### 1.4.7 Fertiirrigación

Se refiere a la disolución de fertilizantes en agua el cual es aplicado al suelo, con el fin de brindarle al cultivo hidratación y nutrientes de forma eficiente para incrementar su desarrollo y rendimiento (Xiang, y otros, 2018). Este sistema permite la aplicación exacta de los nutrientes de manera uniforme directamente a las raíces, también es aplicada de forma foliar, reduciendo los costos de producción. Unas de las ventajas es que tiene la fertiirrigación es la flexibilidad que tiene en los cambios de concentración y cantidad de nutrientes en cada etapa de crecimiento en el cultivo (Imas, 1999).

Para que el fertirriego sea efectivo se debe conocer los requerimientos nutricionales que necesite el cultivo en todas sus fases fenológicas, los nutrientes disponibles en el suelo o en el sustrato, calidad del agua, solubilidad de los fertilizantes y el pH (Imas, 1999).

Dentro de las técnicas de fertirriego se debe conocer, el tipo de fertilizantes que se van a emplear, estos se clasifican en el caso de la fertirrigación en la solubilidad.

- Líquidos

Son aquellos que se establecen como soluciones saturadas listas para el uso, y no requieren de ningún proceso adicional.

- Sólidos

Presenta gran solubilidad y se los debe mezclar previo a la fertilización con agua, cada fertilizante presenta su distinto grado de solubilidad, todo esto depende de la temperatura en la que se trabaje.

Dentro de los sólidos se debe realizar hacer especial énfasis en la solubilidad, pH del agua y la (CE) o conductividad eléctrica debido a que al realizar la mezcla de agua con fertilizantes se obtendrán reacciones exo y endotérmicas, las cuales puedan afectar a las plántulas. (PERGAMINO, 2019)

- Formulados

Dentro de los invernaderos para poder aprovechar los sistemas de agua, sustrato y planta se requiere una baja salinidad del agua, la cual se determina por la (CE) de la solución madre para fertilizar, las sales presentes en la solución a manera de fertilizantes juegan un papel importante en la presión osmótica con las raíces de las plantas, es por esto que se debe tener cuidado cuando la solución de riego excede el rango de (CE) entre 0,25 y 0,75 dS/m debido a que esto representa un peligro alto en la salinización del sustrato. (PERGAMINO, 2019)

Para poder realizar fertirriego en invernaderos se prepara soluciones madre dentro del sistema de riego, dosificado de manera cualitativa, y se aplica de acuerdo con la lámina de agua que requiera el cultivo, esta solución madre debe estar aislada de factores ambientales como: luz, humedad y temperaturas altas, (MOLINA, ELOY, CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS, 2018). Además, hay que tener en cuenta la compatibilidad de los fertilizantes solubles para que no reaccionen entre sí y den como resultado productos insolubles, por lo que se debe mantener los fertilizantes en tanques diferentes (Proaño, 2018)

**Tabla 1.1 Tabla de compatibilidad de fertilizantes**

|                            | <b>Fosfato Monopotasio</b> | <b>Nitrato de Potasio</b> | <b>Nitrato de Calcio</b> | <b>Sulfato de Amonio</b> |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Fosfato Monopotasio</b> |                            | SI                        | NO                       | SI                       |
| <b>Nitrato de Potasio</b>  | SI                         |                           | SI                       | SI                       |
| <b>Nitrato de Calcio</b>   | NO                         | SI                        |                          | NO                       |

|                          |    |    |    |  |
|--------------------------|----|----|----|--|
| <b>Sulfato de Amonio</b> | SI | SI | NO |  |
|--------------------------|----|----|----|--|

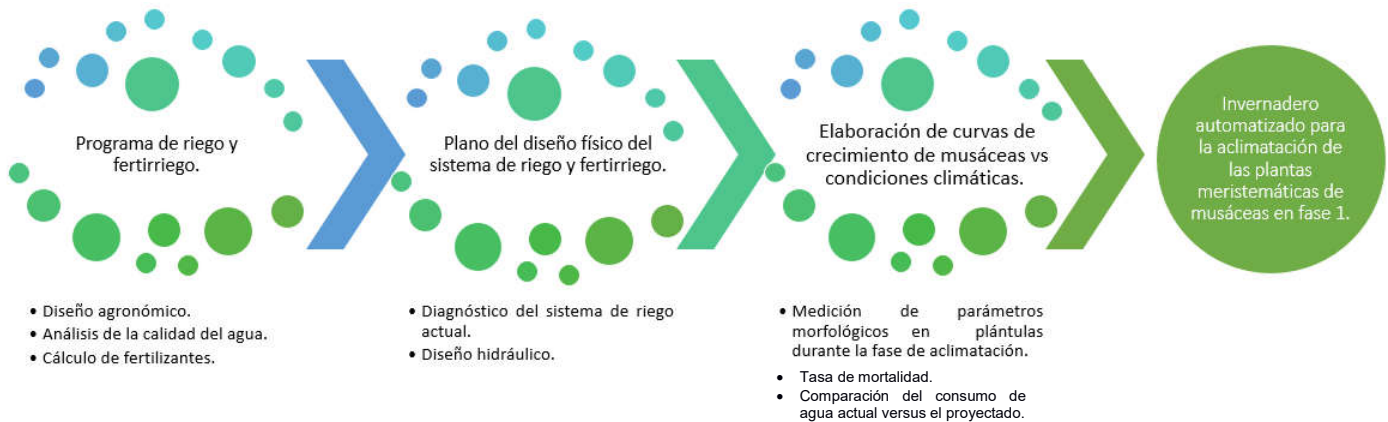
**Fuente: Proaño S., M. Sc (2018)**

#### **1.4.8 Calidad de agua**

Las fuentes de agua varían en el contenido de minerales, nutrientes y pH dependiendo de la zona por lo que es necesario realizar un análisis de agua. La interacción agua y fertilizantes puede causar problemas de precipitación y obstruir los emisores de agua. El contenido alto de bicarbonatos y el uso de sulfatos como fertilizante, causa precipitaciones sulfato de calcio (Imas, 1999).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA



### 2.1 Área de estudio:

El presente proyecto se llevó a cabo en unos de los invernaderos de la empresa Sebioca que se encuentra localizada en la ESPOL campus Prosperina Km 30.5 vía perimetral, de la ciudad de Guayaquil.

### 2.2 Programa de riego y fertirriego

#### 2.2.1 Diseño Agronómico

Para la elaboración del diseño agronómico se utilizaron los datos meteorológicos de la estación LAB FREE ubicado en el laboratorio de termo fluidos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP), el set de datos fue desde el año 2003 hasta 2013., ya que los datos son externos al invernadero, se aplicó un factor de corrección según Unland Weis & Ángeles Hernández (2011). El cual menciona que para temperaturas máximas dentro del invernadero existe un incremento de 7.5 °C más que la exterior, mientras que la temperatura mínima es 0.2 grados menor que la exterior, para la humedad relativa se da un aumento del 16.80% dentro del invernadero así mismo la velocidad del viento cercana de 0,0001 km/día esto por la cubierta de plástico que presenta el invernadero, para la insolación global se transformó en W/m<sup>2</sup> a kWh/m<sup>2</sup>,

para esto se multiplica la insolación global por las horas sol de la zona y se divide para 1000, para el caso de Guayaquil se trabajó con 12 horas.

Por otra parte, se ingresó los datos ya corregidos anteriormente al programa de acceso libre llamado CROPWAT versión 8.0, desarrollado por Joss Swennenhuis, para obtener la evapotranspiración (Eto), como se ve en la figura 2.1. Además, se calculó la evapotranspiración del cultivo (Etc) con los datos de la Eto y el coeficiente del cultivo (Kc) de mayor valor con la siguiente ecuación:

$$(2.1) \text{ Etc } \left[ \frac{mm}{dia} \right] = Eto \times Kc$$

Para calcular el requerimiento de agua necesario para el cultivo se procedió a calcular primero la lámina de riego ajustado (LRaj) con la siguiente ecuación:

$$(2.2) \text{ LRaj } [mm] = \frac{IRaj \times Etc}{Par(100\%)}$$

Donde:

- IRaj (dia) intervalo de riego ajustado
- Par (%) porcentaje de área bajo riego

Luego se calcula la lámina bruta (Lb) del cultivo utilizando la lámina de riego ajustada y la eficiencia del emisor en porcentaje:

$$(2.3) \text{ Lb } [mm] = \frac{LRaj}{Efic(90\%)}$$

Precipitación horaria del sistema de riego (Phr):

$$(2.4) \text{ Phr } [mm/h] = \frac{qe}{dl \times de}$$

Donde:

- qe (L/h) caudal del emisor
- dl (m) distancia entre laterales
- de (m) distancia entre emisores

Horas de riego por turno (Ht):

$$(2.5) \text{ Ht } \left[ \frac{h}{turno} \right] = \frac{LB}{Phr}$$

Monthly ETo Penman-Monteith - C:\Users\md\_w1\Desktop\Integradora\datos meteorologico...

Country  Station

Altitude  m. Latitude  °S Longitude  °W

| Month     | Min Temp | Max Temp | Humidity | Wind   | Sun   | Rad       | ETo    |
|-----------|----------|----------|----------|--------|-------|-----------|--------|
|           | °C       | °C       | %        | km/day | hours | MJ/m²/day | mm/day |
| January   | 23.4     | 36.0     | 94       | 0      | 2.6   | 13.2      | 3.04   |
| February  | 23.3     | 36.1     | 99       | 0      | 2.9   | 14.0      | 3.21   |
| March     | 24.1     | 37.4     | 94       | 0      | 3.3   | 14.7      | 3.39   |
| April     | 24.2     | 37.6     | 92       | 0      | 3.4   | 14.3      | 3.33   |
| May       | 23.4     | 35.3     | 89       | 0      | 3.1   | 12.9      | 2.91   |
| June      | 22.5     | 35.5     | 91       | 0      | 2.6   | 11.7      | 2.63   |
| July      | 21.7     | 34.9     | 91       | 0      | 2.7   | 12.1      | 2.66   |
| August    | 21.2     | 35.0     | 90       | 0      | 3.1   | 13.4      | 2.90   |
| September | 21.3     | 36.0     | 87       | 0      | 3.6   | 14.8      | 3.24   |
| October   | 21.4     | 35.8     | 86       | 0      | 3.5   | 14.9      | 3.30   |
| November  | 21.8     | 31.9     | 84       | 0      | 3.4   | 14.5      | 2.99   |
| December  | 23.1     | 37.2     | 81       | 0      | 2.9   | 13.5      | 2.96   |
| Average   | 22.6     | 35.7     | 90       | 0      | 3.1   | 13.7      | 3.05   |

Figura 2.1 Datos meteorológico de estación de termo fluidos

### 2.2.2 Análisis de la calidad del agua

Para el análisis de agua se identificó la fuente principal que suministra el agua para las labores de riego, luego de esto se recolecto una muestra de 15ml la cual se filtró previamente a los análisis del laboratorio, mediante el uso de un espectrómetro de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) marca Perkin Elmer modelo: 5300 DV para obtener contenido de cationes e iones, así como los elementos químicos presentes en el agua en fracciones de trazas y ultra-trazas para ser cuantificadas en partes por billón y partes por trillón.

De igual manera para el análisis de la conductividad eléctrica se lo realizó con el equipo Thermo Scientific modelo: Orion Star A215 el cual posee un rango de medición que va desde los 0.001  $\mu\text{S/cm}$  hasta 3000  $\text{mS/cm}$ .



**Figura 2.2 Medidor de conductividad**

### 2.2.3 Cálculo de fertilizantes

Se calculó el caudal de riego total del sistema, para esto se tomó en cuenta el caudal y los números de emisores de las camas de cultivos estudiados. Luego se procedió a separar requerimiento de fertilizantes por 4 etapas, como se muestra en la tabla 2.1, ya que estos son los días promedios de desarrollo de las plántulas en fase 1. Por otra parte, se calculó los kilogramos de fertilizante puro (Fp) y disponible (Fd) para la plántula por semana con la siguiente ecuación:

$$(2.6) \quad Fp = (R \times 10^{-6}) \times Q \times 100$$

Dónde:

R= requerimiento de fertilizante en partes por millón (ppm)

Q= caudal del Sistema total en  $\text{m}^3/\text{h}$

**Tabla 2.1 Etapas de necesidades de fertilizantes**

| Etapas  | Semana    | Necesidades (N-P-K-Ca-S) en PPM | Días  |
|---------|-----------|---------------------------------|-------|
| Primera | uno y dos | 120-40-100-30-50                | 0-14  |
| Segunda | tres      | 120-40-120-30-50                | 15-22 |
| Tercera | cuatro    | 120-40-120-30-50                | 23-30 |
| Cuarta  | cinco     | 120-40-120-30-60                | 31-38 |

Los fertilizantes como fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) se deben calcular como fertilizantes disponibles para las plántulas expresados como  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  y  $CaO$  respectivamente. Para llegar esa expresión se necesita multiplicar los elementos por los siguientes coeficientes:

$$P_2O_5 = P \times 2.2$$

$$K_2O = K \times 1.2$$

$$CaO = Ca \times 1.4$$

A continuación, se procedió a calcular los kilogramos de fertilizantes necesarios y aporte que brinda esas cantidades a la plántula por medio de las siguientes ecuaciones:

$$(2.7) \quad X = \frac{XFd}{\frac{\%XE}{100}}$$

Dónde:

X = fertilizante a utilizar en Kg

XFd = elemento disponible a calcular en Kg

%XE = cantidad del elemento en el fertilizante

$$(2.8) \quad XA = \left( \frac{\%XE}{100} \right) \times X$$

Dónde:

XA= aporte de equis elemento

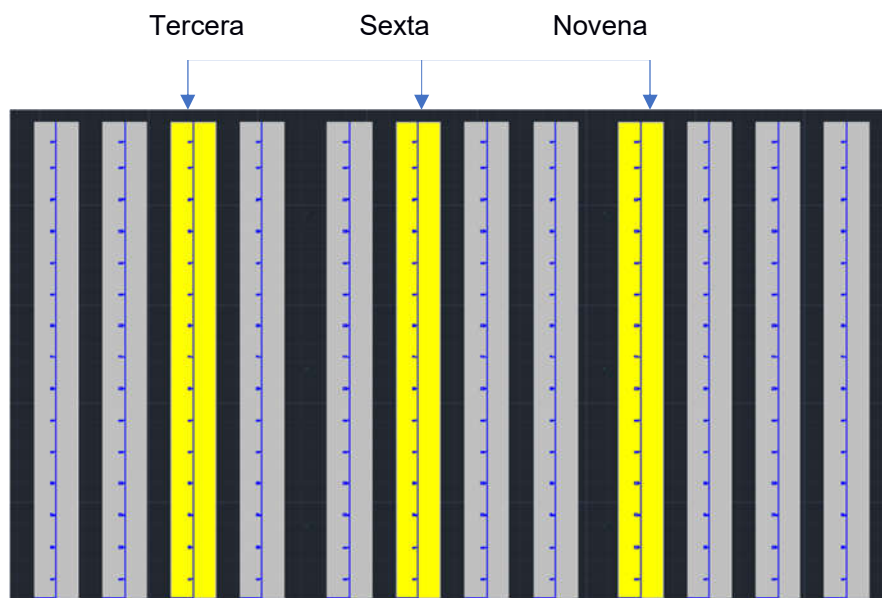
## **2.3 Plano del diseño físico del sistema de riego y fertirriego**

### **2.3.1 Diagnóstico del Área de estudio.**

Para realizar el diagnóstico, se dividió en 2 etapas, el levantamiento y registro de la estructura del invernadero, mediante la medición in situ de alturas totales, altura hasta la capa difusora de radiación solar que es el sarán, largo y ancho de las mesas de cultivo, espaciamiento entre columnas galvanizadas, área y perímetro total del invernadero.

Para determinar las características físicas de las mesas de cultivos se utilizó un flexómetro, y Nivel de burbuja dentro del cual se registraron las medidas como: altura, largo y ancho, así como los grados de inclinación de la mesa para poder determinar fallas que afecten a las plántulas.

Para el sistema de riego el invernadero cuenta actualmente con micro aspersores Rondón boquilla negra el cual se desconocía el caudal emitido y la presión de trabajo, para esto se determinó el caudal promedio (L/h) mediante el método volumétrico el cual consiste en evaluar el tiempo que requiere el emisor en llenar un recipiente de volumen conocido (Fao, 1997). Para esto se utilizó un cronometro digital, una probeta de 100 ml y un recipiente de litros graduados, el proceso se llevó a cabo en la tercera, sexta y novena mesa tal como se observa en la Figura 2.2 en un intervalo de 3 minutos para cada una de las mesas.



**Figura 2.3 Camas que se utilizó para el método volumétrico**

Se debe recalcar que la presión de trabajo para la bomba existente era desconocida, para lo cual se instaló un indicador analógico llamado manómetro Figura 2.3 para poder obtener las presiones de trabajo del sistema, la instalación de este indicador consistió en perforar la tubería principal de salida y acoplarlo mediante un adaptador denominado “montura” todo esto se realizó con los respectivos aislantes para evitar errores de medición por perdidas de presión.



**Figura 2.4 Manómetro acoplado a la tubería principal de 32 mm**

### 2.3.2 Diseño Hidráulico

Para el diseño hidráulico es necesario dimensionar las líneas, principales y secundarias, así como establecer las presiones de trabajo con las que se va a trabajar, por lo que una vez obtenida la presión de trabajo (Tabla 2.2), se realizó los cálculos de pérdida de carga para las líneas secundarias y emisores tomando en cuenta las especificaciones de trabajo que requiere el nuevo emisor.

Según Blacius menciona que para tuberías de plástico liso o polietileno (PE) se usa la ecuación 2.6 la cual nos permite obtener las pérdidas de carga por rozamiento en tuberías con salidas múltiples, ya sean de polietileno (PE) o cloruro de polivinilo (PVC).

$$(2.9) \quad hf = 0.465 \times Q^{1.75} \times D^{-4.75} \times (L + N * Le) \times F$$

Para la cual:

- $H_f$  (m.c.a) es la pérdida de carga por rozamiento.
- $Q$  (L/h) caudal del ramal (número de emisores \* caudal del emisor).
- $D$  (mm) Diámetro de la tubería.
- $L$  (m) Longitud de la tubería.
- $Le$  (m) Espaciamiento entre emisores.
- $F$ = factor de salida o factor  $F$

**Tabla 2.2 Datos del sistema de riego para el cálculo hidráulico**

| Datos             | Cintas porta<br>Nebulizadores | Tuberías<br>Secundarias |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <b>m (factor)</b> | 1,75                          | 1,8                     |
| <b>Qe(l/h)</b>    | 30                            | 60                      |
| <b>N</b>          | 8                             | 12                      |
| <b>Le(m)</b>      | 1,5                           | 1,57                    |
| <b>D(mm)</b>      | 13,6                          | 22                      |
| <b>Q(L/h)</b>     | 240                           | 720                     |
| <b>L(m)</b>       | 12                            | 20,42                   |

Fuente: Elaborado por el autor

En 1942 Christiansen planteo la siguiente ecuación para tuberías con salidas múltiples, basado en que cuando las distancias entre salidas sean constantes y las características de la tubería sean uniformes (Ángeles Montiel, Arteaga Ramírez, Vázquez Peña, Carrillo García, & Ibáñez Castillo, 2007), la cual se encuentra relacionado con la cantidad de emisores y describe la disminución progresiva del caudal a lo largo de la tubería, este se calcula mediante la ecuación:

$$(2.10) \quad F = \frac{1}{1+m} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$$

Constituida por:

- N= número de emisores
- m= coeficiente de Blasius el cual depende del material (1,75 para PE y 1,80 para PVC)

## **2.4 Curvas de crecimiento de musáceas vs condiciones climáticas**

### **2.4.1 Medición de parámetros morfológicos de las plántulas**

La metodología utilizada para la medición de los parámetros morfológicos consistió en medir desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más grande, los datos se registraron 3 veces a la semana con días intercalados, y medidos por una sola persona para evitar el aumento en el error de la medición; el periodo de medición fue el de 5 semanas que es el tiempo que requieren las plantas para cursar su primera fase de aclimatación.

### **2.4.2 Tasa de Mortalidad.**

Para determinar la tasa de mortalidad en el invernadero, se utilizó el muestreo aleatorio Simple en el cual de las 12 camas que contenían 3 estratos de acuerdo con el tamaño como se indica en la tabla chica, mediana y grande se tomaron 8 bandejas para cada una de las camas que se encontraban en la quinta y octava columna, la toma de datos recopilo plantas muertas por bandeja las cuales se hicieron al inicio, mitad y el final para cada uno de los 3 estratos identificados, para luego ser procesados estadísticamente. Se utilizó la ecuación de muestreos cualitativos finitos para obtener la cantidad de muestras representativas en el trabajo estudiado, con la siguiente ecuación:

$$(2.11) \quad n = \frac{z^2 \times p \times q \times N}{e^2(N-1) + z^2 \times p \times q}$$

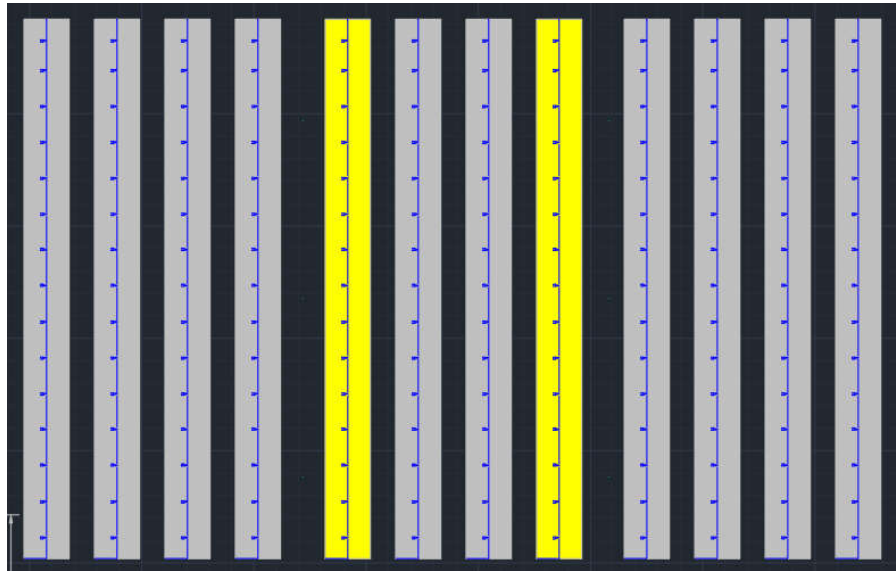
Dónde:

z = nivel de confianza, 95%  $\approx$  1.96, según la tabla de z

p = probabilidad a favor, 50%  $\approx$  0.5

q = probabilidad en contra, 50%  $\approx$  0.5

e = error, 5%  $\approx$  0.05



**Figura 2.5 Camas en las que se realizó el muestreo.**

### 2.4.3 Comparación del consumo de agua actual versus el proyectado.

Para determinar el caudal de trabajo del riego de forma manual se realizó el método volumétrico el cual consiste en evaluar el tiempo que requiere el emisor en llenar un recipiente de volumen conocido (Fao, 1997). En este método se utilizó un balde de 20 litros y con ayuda de un cronómetro digital se registró durante 2 minutos la cantidad de agua emitida por la manguera utilizada en el riego manual, con estos datos precedió el cálculo con la siguiente ecuación:

$$(2.12) \quad Q = \frac{V}{T}$$

En dónde:

Q= caudal de trabajo (m<sup>3</sup>/h)

V= volumen de agua (m<sup>3</sup>)

T= tiempo (h)

A continuación, se procedió al cálculo de las horas de trabajo y volumen de agua que se utiliza al mes con los parámetros indicados por interagua (2017), como se observa en la tabla 2.3. Con esos datos se comparó en base a los caudales y a la disposición frecuencia de riego determinando los metros cúbicos utilizados por día por semana y por mes con el sistema de riego que se propuso.

**Tabla 2.3 Rango de consumo de agua potable**

| <b>m3 por mes</b> | <b>Valor por m3 (\$)</b> |
|-------------------|--------------------------|
| 0 – 15            | 0.308                    |
| 16 – 30           | 0.457                    |
| 31 – 60           | 0.646                    |
| 61 – 100          | 0.810                    |
| 101 – 300         | 0.903                    |
| 301 – 2500        | 1.401                    |
| 2501 - 5000       | 1.798                    |
| 5000 o más        | 2.956                    |

**Fuente: Interagua (2017)**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Programa de riego y fertirriego

#### 3.1.1 Diseño agronómico

Se elaboró una tabla con los resultados de las principales ecuaciones para la creación del programa de riego, el cual se regará tres veces a día (8:00, 11:00 y 16:00) todos los días con una lámina de 1.2 mm para épocas de lluvia y 1 mm para la época seca con una duración de 6.1 min en el día y 5.5 min respectivamente.

**Tabla 3.1 Resultado del diseño agronómico**

|                                             | Época lluviosa                                     | Época seca                                         |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Evapotranspiración del cultivo (Etc)</b> | 3.39 mm/día                                        | 3.14 mm/día                                        |
| <b>Intervalo de riego ajustado (Iraj)</b>   | 0.33 mm                                            | 0.33 mm                                            |
| <b>Lamina de riego ajustado (Lraj)</b>      | 1.2 mm                                             | 1 mm                                               |
| <b>Lamina bruta (Lb)</b>                    | 1.29 mm                                            | 1.16 mm                                            |
| <b>Precipitación horaria de riego (Phr)</b> | 12.74mm/h                                          | 12.74mm/h                                          |
| <b>Horas de riego por turno (Ht)</b>        | <b>0.10 h/turno ≈ 6.1 min ≈<br/>2.03 min/turno</b> | <b>0.090 h/turno ≈ 5.5 min ≈<br/>1.8 min/turno</b> |

Fuente: elaborado por el autor

#### 3.1.2 Análisis de la calidad de agua

Se elaboró una tabla con los resultados del análisis de la calidad de agua que se obtuvo del laboratorio de suelo y con el programa libre creado por José M. Durán Altisent (2001), se determinó que el agua que se utilizó es de buena calidad, además la salinidad y alcalinidad del líquido es bajo (Anexo 2).

**Tabla 3.2 Resultados del análisis de agua**

| Elementos | Unidad | Valor |
|-----------|--------|-------|
| <b>Ca</b> | ppm    | 5.57  |
| <b>Mg</b> | ppm    | 2.31  |
| <b>K</b>  | ppm    | 2.41  |
| <b>P</b>  | ppm    | BLD   |

|           |     |      |
|-----------|-----|------|
| <b>S</b>  | ppm | 4.43 |
| <b>B</b>  | ppm | 0.01 |
| <b>Fe</b> | ppm | 0.02 |
| <b>Zn</b> | ppm | BLD  |
| <b>Co</b> | ppm | BLD  |
| <b>Mn</b> | ppm | BLD  |
| <b>Cu</b> | ppm | BLD  |
| <b>Ni</b> | ppm | BLD  |
| <b>Na</b> | ppm | 7.00 |
| <b>Al</b> | ppm | 0.02 |
| <b>Pb</b> | ppm | BLD  |
| <b>Cd</b> | ppm | BLD  |
| <b>Cr</b> | ppm | BLD  |

### 3.1.3 Cálculo de fertilizantes

En la tabla 3.3 se observa los gramos de fertilizantes necesarios según el tiempo de riego que se les proporcionará a las plántulas en el turno de la mañana, agregando un minuto de riego sin fertilizante para el lavado de las hojas y tuberías.

**Tabla 3.3 Principales fertilizantes con sus respectivos gramos**

| <b>Fertilizantes</b> | <b>2,03 minutos</b> | <b>1,8 minutos</b> |
|----------------------|---------------------|--------------------|
| Fosfato Monopotasio  | <b>4 g</b>          | <b>4 g</b>         |
| Nitrato de Potasio   | <b>3 g</b>          | <b>3 g</b>         |
| Nitrato de Calcio    | <b>4 g</b>          | <b>3 g</b>         |
| Sulfato de Amonio    | <b>9 g</b>          | <b>8 g</b>         |

## 3.2 Plano del diseño físico del sistema de riego y fertirriego

### 3.2.1 Diagnóstico del área de estudio

Para conocer las características de los micro aspersores presentes se utilizó el método volumétrico donde se obtuvo un caudal (Q) de 35 L/h con espaciamento de 0.80m entre emisores y 1,67m entre líneas. Los micro aspersores son utilizados para plantas de tamaño superior a los 20cm debido a la tolerancia de láminas de agua mayores a 2 mm. En cambio, debido a la fragilidad presente en las plántulas de musáceas y su intolerancia al estrés hídrico por exceso de agua, se utilizó nebulizadores que aporten una lámina de agua no mayor a 2 mm, para estimular el enraizamiento y el

control de humedad mediante la creación de microclimas, siendo un sistema ideal para la producción en semillero.

Debido a que el sistema de micro aspersores presentaba una presión de trabajo total de 2.3 bar y los nebulizadores requieren presiones de 3.0 a 5.0 bar para su correcto funcionamiento, como solución se separó en 2 módulos al sistema de riego aumentando la presión de trabajo a 3.2 bar.

### 3.3 Diseño hidráulico del proyecto

En la cinta porta nebulizadores se obtuvo una pérdida de carga de un 0.289m con un factor de salida de 0.428. De forma similar se calculó la pérdida de carga y factor de salida de las tuberías secundarias que fueron 0.307m y 0.4 respectivamente.

**Tabla 3.4 Valor de ajuste en la pérdida de carga por fricción con su factor de salida**

| Segmento | L (m) | D(mm) | N  | Q (L/h) | m (coeficiente de Blasius) | F (ec. 2.10) | Hf (m) (Ec. 2.9) |
|----------|-------|-------|----|---------|----------------------------|--------------|------------------|
| 1        | 12    | 13.6  | 8  | 240     | 1.75                       | 0.428        | 0.289            |
| 2        | 20.42 | 22    | 12 | 720     | 1.8                        | 0.400        | 0.307            |

Siendo 1 cintas porta nebulizadores y 2 tuberías secundarias

#### 3.3.1 Sistema de Inyección para fertirriego.

Para el sistema de fertirriego se propone un sistema tipo D en el cual se evita el uso de nuevas bombas para inyectar el sistema, al utilizar este sistema se aprovecha tipo de D se utiliza la diferencia de presión provocada por la bomba ayudando así a incorporar el fertilizante al sistema.

### 3.4 Crecimiento de musáceas versus condiciones climáticas bajo invernadero.

#### 3.4.1 Tasa de mortalidad.

La siguiente figura indica el porcentaje de mortalidad por cada uno de los estrados clasificados dentro de los cuales se puede observar que, para las plantas medianas la tasa de mortalidad es la más alta seguida de las pequeñas difiriendo en 3 unidades, las mortalidades identificadas fueron por exceso de riego debido a una ineficiente estructura en las camas de cultivos debido a que presentan desniveles significativos que producen encharcamiento en las bandejas, provocando así un estrés hídrico por exceso de agua en las plántulas.

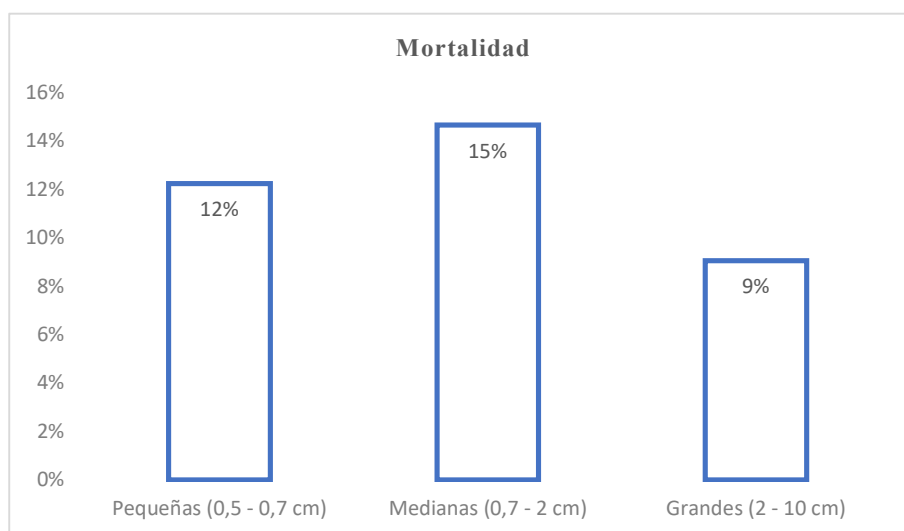


Figura 3.1 Porcentaje de mortalidad en vivero.

#### 3.4.2 Comparación de riego actual versus riego proyectado sistema de nebulización

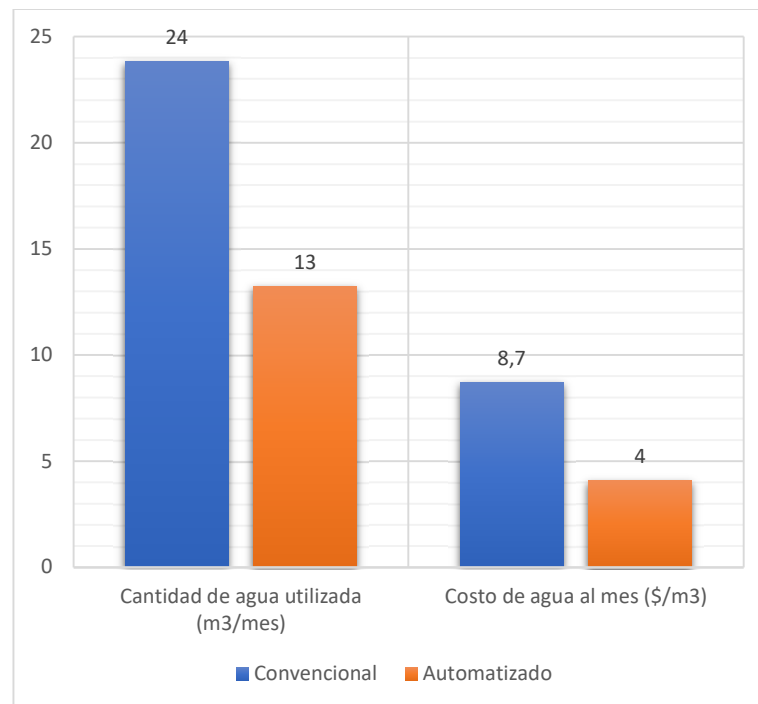
La siguiente tabla muestra las cantidades de agua utilizadas por los diferentes tipos de sistema, los m<sup>3</sup> consumidos al día esto es por el número de labores de riego que se dan en ambos sistemas, así mismo con la comparación de m<sup>3</sup> de agua utilizados al mes y el costo de m<sup>3</sup> al mes determinado según los valores de Interagua.

Tabla 3.5 Volumen y costo del agua en diferentes sistemas de riego

|                                            | Covencional | Automatizado |
|--------------------------------------------|-------------|--------------|
| Horas de trabajo al mes                    | 57,5        | 2,3          |
| Agua utilizada en el día (m <sup>3</sup> ) | 1,04        | 0,576        |

|                                                  |            |           |
|--------------------------------------------------|------------|-----------|
| Cantidad de agua utilizada (m <sup>3</sup> /mes) | <b>24</b>  | <b>13</b> |
| Costo de agua al mes (\$/m <sup>3</sup> )        | <b>8,7</b> | <b>4</b>  |

La siguiente figura representa el consumo de agua en m<sup>3</sup>/mes del sistema convencional versus el sistema automatizado de riego así mismo el gasto en dólares por consumo de m<sup>3</sup>/mes, observando que para el sistema automatizado realiza un ahorro del 46% en cuanto a la cantidad de agua utilizada y se produce un ahorro de \$5 dólares. Demostrando la eficiencia del sistema automatizado.



**Figura 3.1 Ilustración del volumen y costo de agua**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- De acuerdo con los datos obtenidos en la evaluación al comparar las labores de riego manual versus las labores con el sistema de riego, se obtiene un ahorro del 46% del recurso hídrico así mismo como una disminución de \$5 en gastos de agua al mes.
- Se verifico la reutilización de la bomba inicial del sistema para disminuir los costos de implementación, así mismo como el uso de un sistema de inyección que utilice la diferencia de succión creada en el sistema por dicha bomba.

### Recomendaciones

- Las mesas de cultivo deben ser niveladas correctamente para obtener una mejor uniformidad de riego, evitando así la muerte de plántulas por exceso de agua.
- Se recomienda realizar análisis periódicos de las plántulas completas evaluando los nutrientes que son asimilados durante las 5 semanas, permitiendo corregir deficiencias nutricionales y optimizando el uso de los fertilizantes.
- Se recomienda capacitar al personal encargado del invernadero, los mantenimientos y cuidado de los distintos equipos que se proponen instalar.

# BIBLIOGRAFÍA

- Angarita, & Perea. (s.f.). *Micropropagación de plátanos y bananos*. Obtenido de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Cultivo%20de%20Tejidos%20en%20la%20Agricultura/capitulo22.pdf>
- Arias Gavilanez, E. L. (noviembre de 2014). *Estudio financiero para la producción de banano (Musa sapientum), en Pueblo Viejo, Los Ríos, Ecuador*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3370/1/AGN-2014-T003.pdf>
- Eckstein, K., & Robinson, J. C. (1995). Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish subgroup) in the subtropics. I. Influence of internal plant factors on gas exchange of banana leaves. *Journal of Horticultural Science*, 70(1), 147 - 156.
- Galán Saúco, V., & Robinson, J. (septiembre de 2013). *FISIOLOGÍA, CLIMA Y PRODUCCIÓN DE BANANO*. Obtenido de [Galan\\_Sauco\\_V\\_Robinson\\_JC\\_2013\\_Fisiologia\\_clima\\_y\\_produccion\\_de\\_banano\\_\\_Acrobat\\_Brasil\\_43-57\\_15\\_p..pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3370/1/AGN-2014-T003.pdf)
- GALAN, V., & RAGEL, A. (2018). Propagación del Banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4), 574.
- Galán, V., Rangel, A., Lopez, J., Perez Hernandez, J. B., Sandoval, J., & Souza Rocha, H. (5 de junio de 2018). *Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones*. Obtenido de <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v40n4/0100-2945-rbf-40-4-e-574.pdf>
- Hurtado, D., & Merino, M. (1987). Cultivo de tejidos vegetales. Trillas.
- Imas, P. (1999, february 11). *Recent techniques in fertigation of horticultural crops in Israel*. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/6306/de7aab20f1acef20df1db1a7cd32f6e1ddef.pdf>
- INEC - ESPAC. (2018). *Estadísticas agropecuarias*. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Presentacion%20de%20principales%20resultados.pdf)
- Montserrat. (2005). Sistemas de riego para uso en invernaderos. 80-85.
- Olmos, S., Galdeano, E., & Luciani, S. (2010). Micropopagacion. En C. A. Biotecnología, G. Levitus, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski (Edits.), *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II* (págs. 353-362). Argentina: ARGENBIO.
- Proaño, J. (2018). Programación de la fertirrigación. Guayaquil, Ecuador.
- Ramón Vera, C. G. (2014). *RESPUESTA DE VITRO-PLANTAS DE BANANO (Musa spp.) VARIEDAD VALERY EN LA FASE DE ACLIMATACIÓN DE VIVERO EN DIFERENTES SUSTRATOS*. Obtenido de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/913/7/CD290\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/913/7/CD290_TESIS.pdf)
- Sathes, R. (2010, enero 4). *Plant tissue culture techniques of Banana*. Retrieved from <https://www.slideshare.net/sathes32/tissue-culture-techniques-of-banana>
- Shailesh, V., & Kothari, R. (2007, octubre 12). *An integrated approach to primary and secondary hardening of banana var. Grand Naine*. Retrieved from

[https://www.researchgate.net/publication/274891160\\_An\\_integrated\\_approach\\_to\\_primary\\_and\\_secondary\\_hardening\\_of\\_banana\\_var\\_Grand\\_Naine](https://www.researchgate.net/publication/274891160_An_integrated_approach_to_primary_and_secondary_hardening_of_banana_var_Grand_Naine)

Turrado , j., Saucedo, A. R., & Sanjuan , R. (2009). RACHIS of muse balbisiana and muse acuminata as source of fibers for paper. *Informacion tecnologica*, 20(4), 117 / 209.

Unland Weiss, H. E., & Ángeles Hernández, J. (2011). *Comparacion de parametros meteorológicos dentro y fuera de un invernadero para el calculo de los requerimientos hidricos de un cultivo bajo condiciones de invernadero en Ocuiluco, Morelos*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/ec37/c1f6e2cd7cc1565ba5241f8e7cf951186a99.pdf>

Xiang, Y., Zou, H., Zhang, F., Wu, Y., Yan, S., Zhang, X., . . . Zhou, H. (15 de abril de 2018). *Optimization of Controlled Water and Nitrogen Fertigation on Greenhouse Culture of Capsicum annum*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5924982/>

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### ANEXOS

Anexo 1. Tabla de la evapotranspiración por mes utilizando cropwat

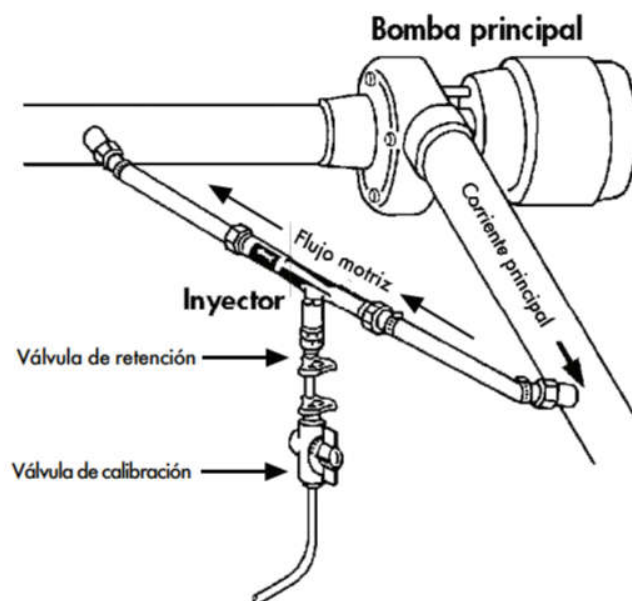
|            | TEMP MIN<br>(°C) | TEMP<br>MAX (°C) | HUMEDAD<br>RELATIVA<br>(%) | VIENTO<br>(km/día) | SOL (horas<br>sol) | Rad<br>(MJ/m2/día) | Eto<br>(mm/día) |
|------------|------------------|------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| ENERO      | 23,4             | 36,0             | 94                         | 0                  | 2,56               | 13,2               | 3,04            |
| FEBRERO    | 23,3             | 36,1             | 99,55                      | 0                  | 2,89               | 14                 | 3,21            |
| MARZO      | 24,1             | 37,4             | 94                         | 0                  | 3,33               | 14,7               | 3,39            |
| ABRIL      | 24,2             | 37,6             | 92                         | 0                  | 3,44               | 14,3               | 3,33            |
| MAYO       | 23,4             | 35,3             | 89                         | 0                  | 3,12               | 12,9               | 2,91            |
| JUNIO      | 22,5             | 35,5             | 91                         | 0                  | 2,65               | 11,7               | 2,63            |
| JULIO      | 21,7             | 34,9             | 91                         | 0                  | 2,69               | 12,1               | 2,66            |
| AGOSTO     | 21,2             | 35,0             | 90                         | 0                  | 3,07               | 13,4               | 2,9             |
| SEPTIEMBRE | 21,3             | 36,0             | 87                         | 0                  | 3,61               | 14,8               | 3,24            |
| OCTUBRE    | 21,4             | 35,8             | 86                         | 0                  | 3,48               | 14,9               | 3,3             |
| NOVIEMBRE  | 21,8             | 31,9             | 84                         | 0                  | 3,42               | 14,5               | 2,99            |
| DICIEMBRE  | 23,1             | 37,2             | 81                         | 0                  | 2,90               | 13,5               | 2,96            |
|            |                  |                  |                            |                    |                    |                    |                 |
| PROMEDIO   | 22,6             | 35,7             | 90                         | 0                  | 3,1                | 13,8               | 3,05            |

## Anexo 2 Resultados del análisis de agua

| ANÁLISIS AGUA DE RIEGO                                       |           | REGISTRO            | COMENTARIOS                         |
|--------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------------------|
| <b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>                                   |           |                     |                                     |
| pH                                                           | 7.0       |                     | pH neutro                           |
| Conductividad eléctrica (CE <sub>25</sub> )                  | 0.09      | mS·cm <sup>-1</sup> | Salinidad: Baja                     |
| Temperatura                                                  | 25        |                     | Temperatura de referencia           |
| <b>ANIONES</b>                                               |           |                     |                                     |
|                                                              |           |                     | Suma aniones (meq/L): 0.0922769     |
| Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )                 | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )                   | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Cloruro (Cl <sup>-</sup> )                                   | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Fosfato (HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )                    | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )                      | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )                      | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )                     | 0.09      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Acetato (CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> )                  | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> |                                     |
| <b>CATIONES</b>                                              |           |                     |                                     |
|                                                              |           |                     | Suma cationes (meq/L): 0.836979     |
| Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )                       | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Calcio (Ca <sup>2+</sup> )                                   | 0.28      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )                                 | 0.19      | meq·L <sup>-1</sup> | Alto                                |
| Potasio (K <sup>+</sup> )                                    | 0.06      | meq·L <sup>-1</sup> | Bajo                                |
| Sodio (Na <sup>+</sup> )                                     | 0.30      | meq·L <sup>-1</sup> | Ver Índices                         |
| <b>MICRONUTRIENTES</b>                                       |           |                     |                                     |
| Hierro (Fe)                                                  | 0.02      | mg·L <sup>-1</sup>  | Bajo                                |
| Manganeso (Mn)                                               | 0.00      | mg·L <sup>-1</sup>  | Bajo                                |
| Cobre (Cu)                                                   | 0.00      | mg·L <sup>-1</sup>  |                                     |
| Zinc (Zn)                                                    | 0.00      | mg·L <sup>-1</sup>  | Bajo                                |
| Molibdeno (Mo)                                               | 0.00      | mg·L <sup>-1</sup>  | Bajo                                |
| Boro (B)                                                     | 0.01      | mg·L <sup>-1</sup>  | Bajo                                |
| Silice (SiO <sub>2</sub> )                                   | 0.00      | mg·L <sup>-1</sup>  | Bajo                                |
| <b>VERIFICACIONES</b>                                        |           |                     |                                     |
|                                                              |           |                     | Verificar análisis                  |
| Suma de aniones                                              | 0.09      | meq·L <sup>-1</sup> |                                     |
| Suma de cationes                                             | 0.84      | meq·L <sup>-1</sup> |                                     |
| Diferencia entre aniones y cationes                          | 0.7447021 | meq·L <sup>-1</sup> |                                     |
| Tolerancia entre aniones y cationes                          | 0.20      | meq/L               |                                     |
| Sales totales analizadas                                     | 22        | mg·L <sup>-1</sup>  |                                     |
| Sales totales estimadas                                      | 60        | mg·L <sup>-1</sup>  |                                     |
| Diferencia de sales totales                                  | 38        | mg·L <sup>-1</sup>  |                                     |
| Tolerancia para sales totales                                | 4         | mg·L <sup>-1</sup>  | Verificar análisis                  |
| <b>INDICES</b>                                               |           |                     |                                     |
| Carbonato sódico residual                                    | 0.00      | meq·L <sup>-1</sup> | Calidad: Buena                      |
| Conductividad eléctrica (CE <sub>25</sub> )                  | 0.09      | mS·cm <sup>-1</sup> | Riesgo de salinización: Bajo (C1)   |
| Relación de adsorción de sodio (SAR)                         | 0.63      |                     | Riesgo de alcalinización: Bajo (S1) |
| Relación de adsorción de sodio corregido (SAR <sup>c</sup> ) | ---       |                     |                                     |
| Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)                     | 36        | %                   |                                     |
| Índice de Scott                                              | ---       |                     |                                     |
| Relación Ca <sup>2+</sup> / Mg <sup>2+</sup>                 | 1.45      |                     | Calidad: Buena                      |
| <b>FECHA Y FIRMA</b>                                         |           |                     |                                     |
| Madrid, 7.12.2019                                            |           | Fdo.                |                                     |

BLD= Bajo Límite de detección

### Anexo 3. Sistema de inyección para la fertilización.



### Anexo 4. Sistema de Nebulización automatizado.

