



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, reactivo 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 tiempo de riego necesaria para las plántulas, además de calcular los gramos de fertilizantes requeridos por las mismas. Por otro lado, se realizó el diseño hidráulico para determinar la pérdida de carga de una tubería (hf) y el factor de salidas múltiples (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 0.38mm y se regará mediante 3 turnos/día durante 1.8min/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 m³/mes, mientras que por medio del riego automatizado fue de 12 m³/mes. En conclusión, de acuerdo con los datos obtenidos en la evaluación al comparar las labores de riego manual versus las labores mediante un sistema de riego automatizado, se obtiene un ahorro del 50% del recurso hídrico así mismo como una disminución de \$4.7 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 largest 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 go to a greenhouse to adapt to 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 consisted of calculating the crop evapotranspiration to know the sheet and irrigation time 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 determine the loss of a load of a pipe (hf) and the multiple output factor (F) and thus consider the final fluid pressure. On the other hand, the mortality rate and the comparison of current water consumption versus the proposed system were measured. With this information it was obtained that the necessary irrigation sheet per day is 0.38 mm and will be watered by 3 shifts/day for 1.8 min/shift, the emitter that was recommended for use in the greenhouse was 4 nozzle nebulizers. Also, the volume of water used per month in conventional irrigation was 24 m³/month, while through automated irrigation it was 12 m³/month. In conclusion, according to the data obtained in the evaluation when comparing the manual irrigation tasks versus the works through an automated irrigation system, a saving of 50% of the water resource is obtained as well as a decrease of \$4.7 in water expenses a month.

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

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	V
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	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.....	7
1.4.4 Factores de alta importancia en la fase de aclimatación.	7
1.4.5 Requerimientos edafológicos y nutricionales.....	8
1.4.6 Sistemas de riego para invernaderos.....	9
1.4.7 Fertiirrigación	9
1.4.8 Calidad de agua	11

CAPÍTULO 2	12
2. Metodología	12
2.1 Área de estudio:	12
2.2 Programa de riego y fertirriego	12
2.2.1 Diseño Agronómico	12
2.2.2 Análisis de la calidad del agua	14
2.2.3 Cálculo de fertilizantes	15
2.3 Plano del diseño físico del sistema de riego y fertirriego.....	16
2.3.1 Diagnóstico del Área de estudio.....	16
2.3.2 Diseño Hidráulico	18
2.4 Análisis de la relación entre variables climáticas del invernadero con el crecimiento de las plantas	19
2.4.1 Medición de parámetros morfológicos de las plántulas	19
2.4.2 Tasa de Mortalidad.	20
2.4.3 Comparación del consumo de agua actual versus el proyectado.	21
CAPÍTULO 3	22
3. Resultados Y ANÁLISIS	22
3.1 Programa de riego y fertirriego para suplir las demandas nutricionales de las musáceas.....	22
3.1.1 Diseño agronómico	22
3.1.2 Análisis de la calidad de agua	22
3.1.3 Cálculo de fertilizantes	23
3.2 Diseño físico del sistema de riego y fertirriego con sus componentes	23
3.2.1 Diagnóstico del área de estudio	23
3.3 Diseño hidráulico del proyecto.....	24
3.3.1 Sistema de Inyección para fertirriego.	24

3.4	Análisis de la relación entre variables climáticas del invernadero con el crecimiento de las plantas	25
3.4.1	Medición de parámetros morfológicos de las plántulas	25
3.4.2	Tasa de mortalidad.	26
3.4.3	Comparación de riego actual versus riego proyectado sistema de nebulización	26
CAPÍTULO 4	28
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	28
	Conclusiones.....	28
	Recomendaciones.....	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXO	31

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
PEBD	Polietileno de baja densidad
PVC	Polivinilo carbonato

SIMBOLOGÍA

ha	Hectáreas
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
°C	Celsius
N	Nitrógeno
P ₂ O ₅	Óxido de fósforo
K ₂ 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 centímetro
mS/cm	Milisiemens por centímetro
CE	Conductividad eléctrica
W/m ²	Watt por metro cuadrado
MJ/m ²	Mega Joules por metro cuadrado

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Datos meteorológico de estación de termo fluidos ajustado a condiciones bajo invernadero.....	14
Figura 2.2 Medidor de conductividad.....	15
Figura 2.3 Camas que se utilizó para el método volumétrico.....	17
Figura 2.4 Manómetro acoplado a la tubería principal de 32 mm.....	18
Figura 2.5 Camas en las que se realizó el muestreo.	20
Figura 3.1 Altura vs días.....	25
Figura 3.2 Porcentaje de mortalidad en vivero.....	26
Figura 3.3 Ilustración del volumen y costo de agua	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Conversión de unidades	7
Tabla 1.2 Macroelementos para banano en fase 1	8
Tabla 1.3 Tabla de compatibilidad de fertilizantes	11
Tabla 2.1 Etapas de necesidades de fertilizantes	15
Tabla 2.2 Datos del sistema de riego para el cálculo hidráulico	19
Tabla 2.3 Rango de consumo de agua potable	21
Tabla 3.1 Resultado del diseño agronómico	22
Tabla 3.2 Resultados del análisis de agua	22
Tabla 3.3 Principales fertilizantes con sus respectivos gramos	23
Tabla 3.4 Valor de ajuste en la pérdida de carga por fricción con su factor de salida	24
Tabla 3.5 Volumen y costo del agua en diferentes sistemas de riego.....	26

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

Se realizó un diagnóstico en las instalaciones del invernadero en fase uno de la compañía SEBIOCA identificándose deficiencias en los sistemas de riego, fertilización, así como la ausencia de redes eléctricas y sensores de temperatura - humedad, que permitan evaluar las condiciones climáticas del área de crecimiento, afectando al manejo del recurso hídrico, nutrición de las plántulas factores necesarios para los procesos de crecimiento y climatización.

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 uno 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 uno 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 uno.

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 uno 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.

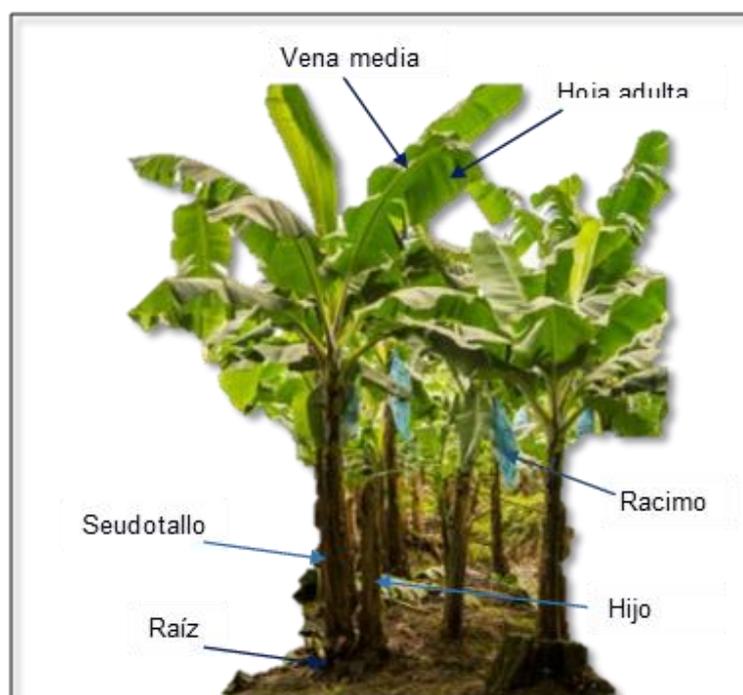


Figura 1.1 Partes de una planta de banano

Fuente: Creado por los autores

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, buscandoseudotallos vigorosos con hojas de espada y estrechas, o “mal hijos”seudotallos 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 inoculo 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, traduciéndose 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.

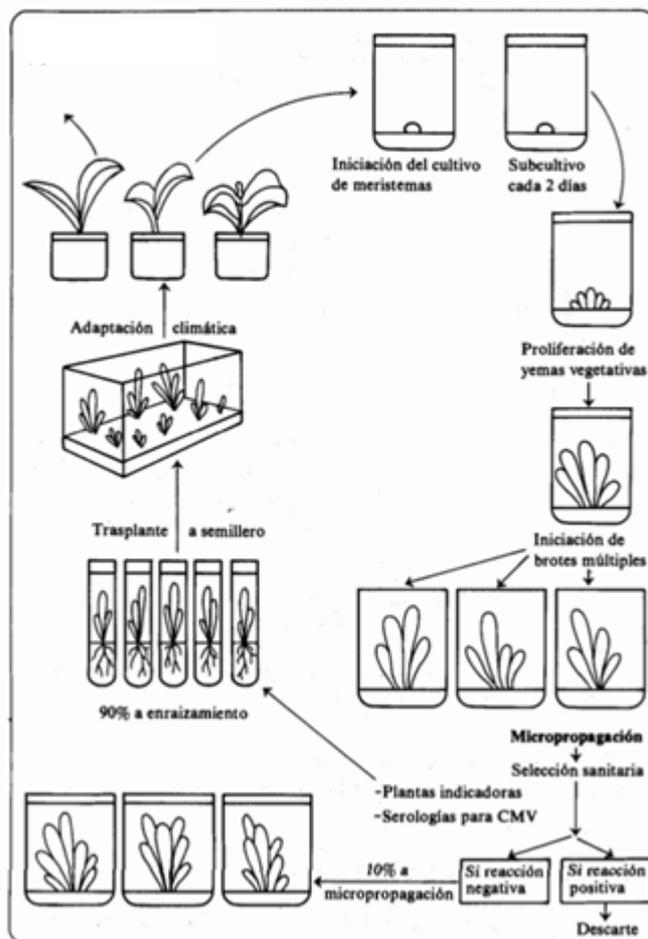


Figura 1.2 Micropropagación de banano

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 uno donde las plántulas deben conservarse en condiciones climáticas adecuadas para su óptimo desarrollo. Unas 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, 1987)

Por lo tanto, para conocer la intensidad lumínica se necesita saber la radiación solar en MJ/m²/día, luego se los transforma a Watt/m² para llegar a lux (Intagri, 2019), como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1.1 Conversión de unidades

1 MJ/m ² /día	11.6 Watt/m ²
1 watt/m ²	100 lux

Fuente: adaptada por los autores

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 fotoxidación 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 1.2 Macroelementos para banano en fase 1

Macro y micronutrientes	Cantidad [%]
N	2.37
P2O5	0.07

K ₂ 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).

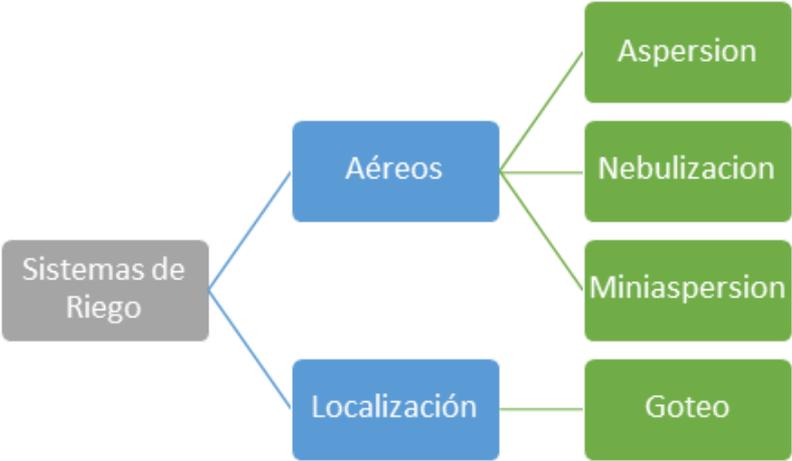


Figura 1.3 Tipos de sistemas de riego para invernadero

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. Una de las ventajas es que tiene la fertirrigación 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 1.3 Tabla de compatibilidad de fertilizantes

	Fosfato Monopotasio	Nitrato de Potasio	Nitrato de Calcio	Sulfato de Amonio
Fosfato Monopotasio		SI	NO	SI
Nitrato de Potasio	SI		SI	SI
Nitrato de Calcio	NO	SI		NO
Sulfato de Amonio	SI	SI	NO	

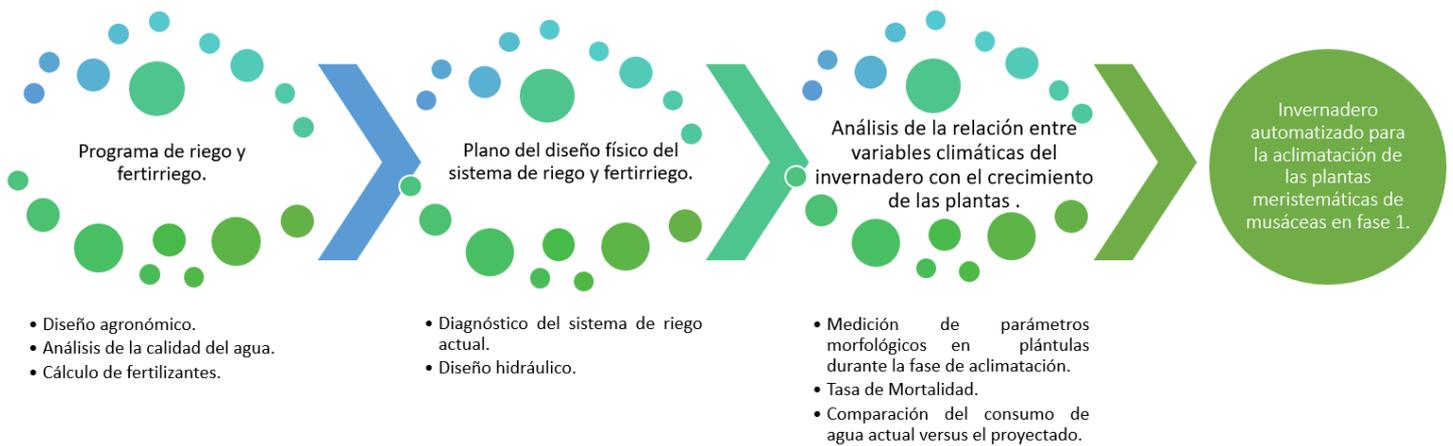
Fuente: Proaño S., M. Sc (2018)

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/m² a kWh/m², 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). Según la FAO el kc inicial para banano de primer año es de 0.5, por ese motivo se escoge un kc de 0.3, es decir el 30% de su demanda potencial hídrico, ya que las plántulas duran bajo invernadero 35 días.

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

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:

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

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:

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

Precipitación horaria del sistema de riego (Phr):

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

Donde:

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

Horas de riego por turno (Ht):

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

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 ajustado a condiciones bajo invernadero

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 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 cuatro etapas, como se muestra en la tabla 2.1, ya que estos son los días promedios de desarrollo de las plántulas en fase uno. Por otra parte, se calculó los kilogramos de fertilizante puro (F_p) y disponible (F_d) para la plántula por semana con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

Q= caudal del Sistema total en m^3/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

Fuente: Elaborado por los autores

Los fertilizantes como fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca) se deben calcular como fertilizantes disponibles para las plántulas expresados como P₂O₅, K₂O 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:

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

Dónde:

X = fertilizante a utilizar en Kg

XFd = elemento disponible a calcular en Kg

%XE = cantidad del elemento en el fertilizante

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

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 dos 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 tres minutos para cada una de las mesas.

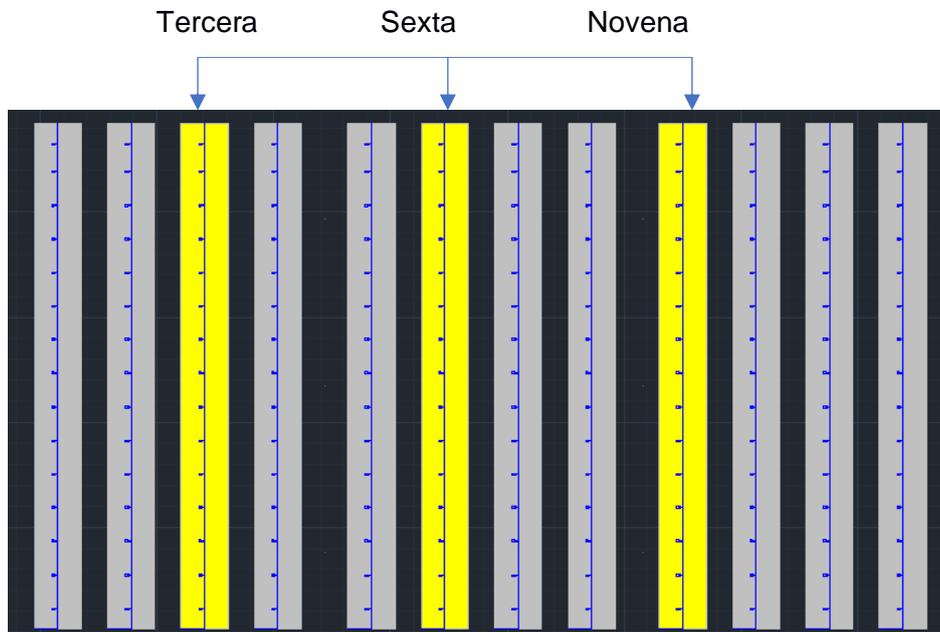


Figura 2.3 Camas que se utilizó para el método volumétrico

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 pérdidas 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 Blasius 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). (Del mar)

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

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) longitud equivalente (siendo 0,5 para PEBD y 1 para PVC).
- F = factor de salida o factor F

Tabla 2.2 Datos del sistema de riego para el cálculo hidráulico

Datos	Cintas porta Nebulizadores	Tuberías Secundarias
m (factor)	1,75	1,8
Qe(l/h)	30	240
N	8	12
Le(m)	0,5	1
D(mm)	13,6	22
Q(L/h)	240	2880
L(m)	12	20,42

Fuente: Elaborado por los autores

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:

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

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 Análisis de la relación entre variables climáticas del invernadero con el crecimiento de las plantas

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 tres 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 cinco 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 tres estratos de acuerdo con el tamaño como se indica en la tabla chica, mediana y grande se tomaron ocho bandejas para cada una de las camas que se encontraban en la quinta y octava columna, la toma de datos recopiló plantas muertas por bandeja las cuales se hicieron al inicio, mitad y el final para cada uno de los tres 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:

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

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

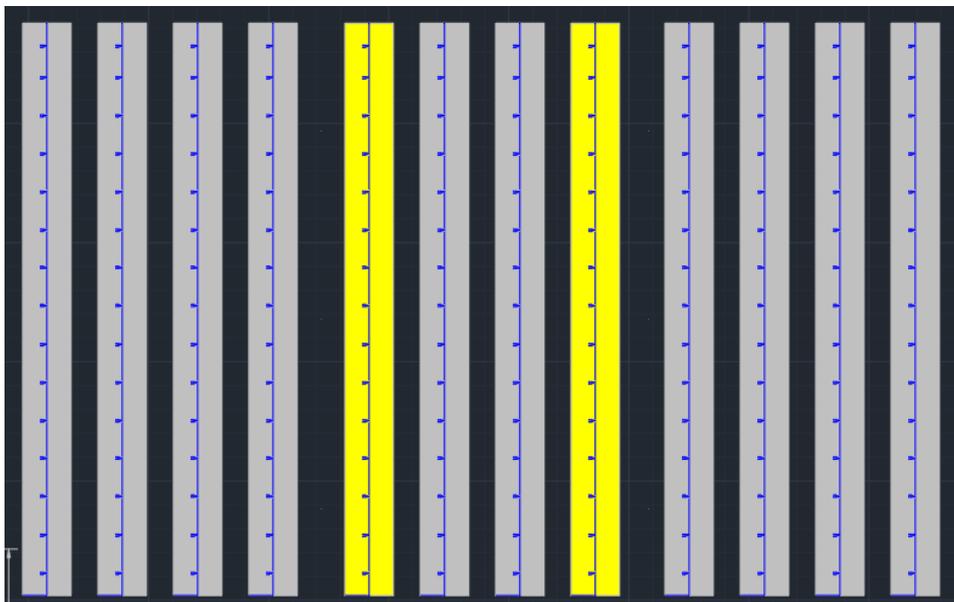


Figura 2.5 Camas en las que se realizó el muestreo.

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 dos minutos la cantidad de agua emitida por la manguera utilizada en el riego manual, con estos datos precedió el cálculo con la siguiente ecuación:

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

En dónde:

Q= caudal de trabajo (m³/h)

V= volumen de agua (m³)

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

m³ por mes	Valor por m³ (\$)
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 para suplir las demandas nutricionales de las musáceas

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 0.38 mm para épocas de lluvia y 0.37 mm para la época seca con una duración de 1.8 min en el día y 1.7 min respectivamente.

Tabla 3.1 Resultado del diseño agronómico

	Época lluviosa	Época seca
Evapotranspiración del cultivo (Etc)	1.02 mm/día	0.99 mm/día
Intervalo de riego ajustado (Iraj)	0.33 día	0.33 día
Lamina de riego ajustado (Lraj)	0.3 mm	0.3 mm
Lamina bruta (Lb)	0.38 mm	0.37 mm
Precipitación horaria de riego (Phr)	12.74mm/h	12.74mm/h
Horas de riego por turno (Ht)	0.0296 h/turno ≈ 1.8 min/turno	0.0288 h/turno ≈ 1.7 min/turno

Fuente: elaborado por los autores

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
Ca	Ppm	5.57
Mg	Ppm	2.31

K	Ppm	2.41
P	Ppm	BLD
S	Ppm	4.43
B	Ppm	0.01
Fe	Ppm	0.02
Zn	Ppm	BLD
Co	Ppm	BLD
Mn	Ppm	BLD
Cu	Ppm	BLD
Ni	Ppm	BLD
Na	Ppm	7.00
Al	Ppm	0.02
Pb	Ppm	BLD
Cd	Ppm	BLD
Cr	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

Fertilizantes	1.8 minutos	1,7 minutos
Fosfato Monopotásico	4 g	4 g
Nitrato de Potasio	3 g	3 g
Nitrato de Calcio	3 g	3 g
Sulfato de Amonio	8 g	7 g

Fuente: elaborado por los autores

3.2 Diseño físico del sistema de riego y fertirriego con sus componentes

3.2.1 Diagnóstico del área de estudio

Para conocer las características de los microaspersores presentes se utilizó el método volumétrico donde se obtuvo un caudal (Q) de 35 L/h con espaciamiento de 0.80m entre emisores y 1,67m entre líneas. Los microaspersores son utilizados para plantas de tamaño superior a los 20cm debido a la tolerancia de láminas de agua mayores a 2mm. 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 2mm, 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 microaspersores 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 dos módulos al sistema de riego aumentando la presión de trabajo a 3.2 bar.

En el anexo 4 se presenta el esquema del plano con el sistema de riego propuesto mediante nebulizadores, que se va a utilizar.

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 3.473 m 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)	Fc (ec. 2.10)	Hf (m.c.a) (Ec. 2.9)
1	12	13.6	8	240	1.75	0.428	0.193
2	20.42	22	12	2880	1.8	0.400	2.868

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 con estructura en forma “D” como se observa en el Anexo 3 en el cual se evita el uso de nuevas bombas para inyectar el sistema, al utilizar este sistema se aprovecha la succión provocada por la bomba al momento de inyectar agua al sistema ayudando así a incorporar el fertilizante.

Debido al sistema de inyección propuesto las pérdidas de salidas del inyector corresponden de 0 a 0.7 bares para un Venturi de media pulgada. (Anexo 6), lo cual nos brinda una capacidad de aspiración de 30 L/h lo cual, de acuerdo con las necesidades de fertirriego por turno, se necesita un recipiente con una capacidad mínima de 1L para diluir la solución madre.

3.4 Análisis de la relación entre variables climáticas del invernadero con el crecimiento de las plantas

3.4.1 Medición de parámetros morfológicos de las plántulas

La siguiente figura describe el crecimiento de las plántulas de banano en fase uno, con una temperatura promedio de 29,7°C y una humedad promedio del 83% a lo largo de las cinco semanas que realizó el monitoreo de su crecimiento, debido a que a la altura de las plantas no cumplía con el mínimo requerido de 10 cm se prolongó dos semanas más su etapa de crecimiento en fase uno.

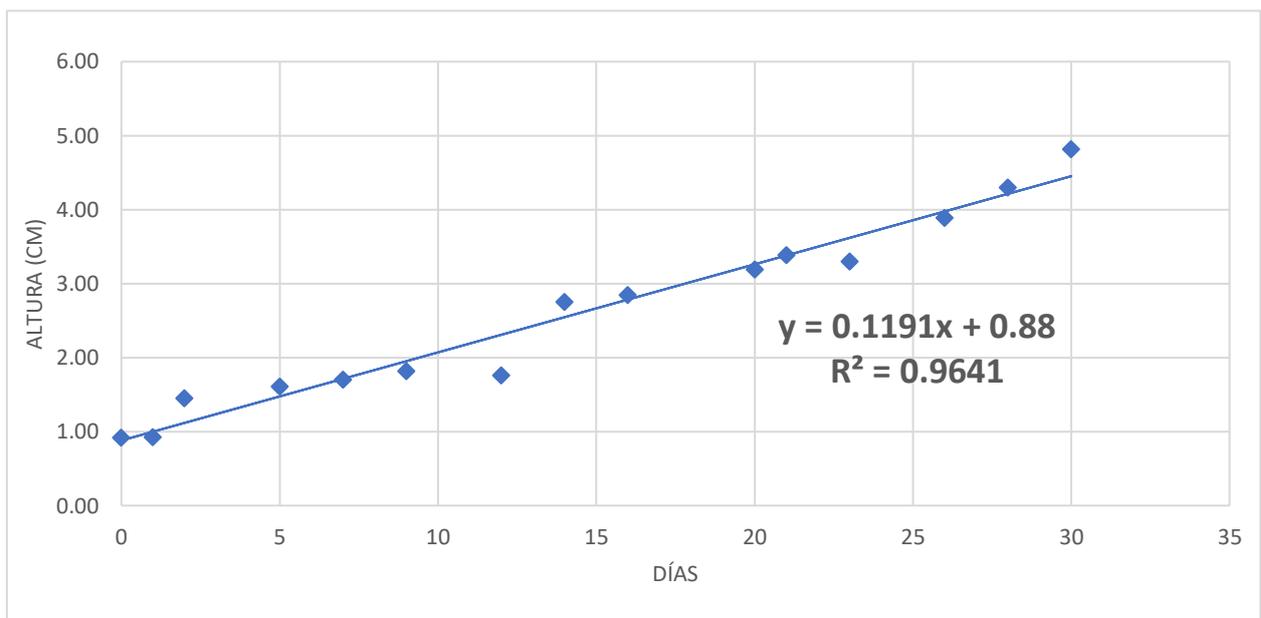


Figura 3.1 Altura vs días

3.4.2 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.

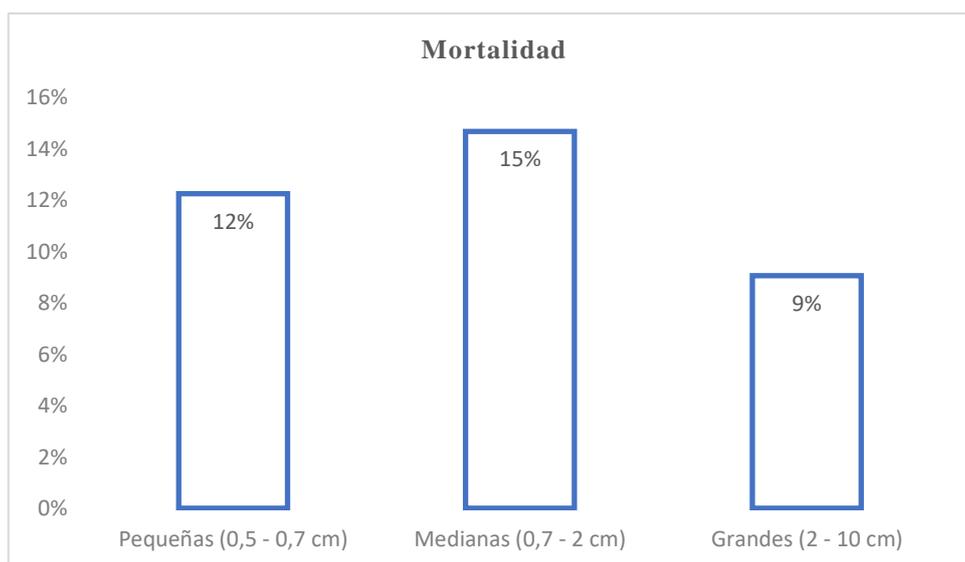


Figura 3.2 Porcentaje de mortalidad en vivero.

3.4.3 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 m³ consumidos al día esto es por el número de labores de riego que se dan en ambos sistemas, así mismo con la comparación de m³ de agua utilizados al mes y el costo de m³ al mes determinado según los valores de Interagua.

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

	Convencional	Automatizado
Horas de trabajo al mes	57,5	2,07
Agua utilizada en el día (m ³)	1,04	0,5184
Cantidad de agua utilizada (m ³ /mes)	24	12
Costo de agua al mes (\$/m ³)	8,7	4

Fuente: elaborado por los autores

La siguiente figura representa el consumo de agua en m³/mes del sistema convencional versus el sistema automatizado de riego así mismo el gasto en dólares por consumo de m³/mes, observando que para el sistema automatizado realiza un ahorro del 50% en cuanto a la cantidad de agua utilizada y se produce un ahorro de \$4.7 dólares. Demostrando la eficiencia del sistema automatizado.

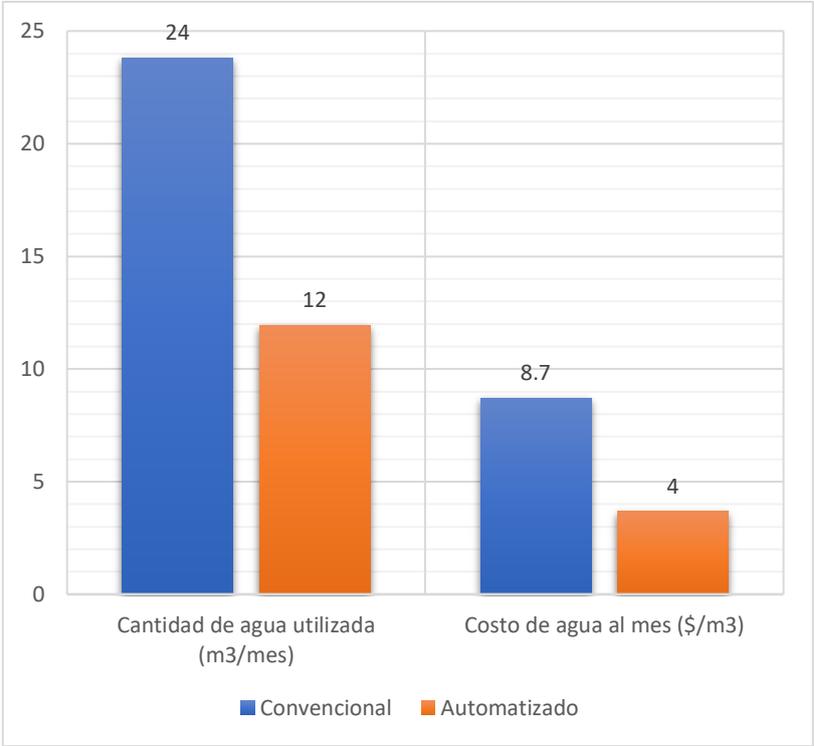


Figura 3.3 Ilustración del volumen y costo de agua

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 50% del recurso hídrico así mismo como una disminución de \$4,7 en gastos de agua al mes.
- De acuerdo con los cálculos nutricionales que requiere las plántulas en la fase uno hay una diferencia con sulfato de amonio de 184 g, nitrato de potasio de 99 g y nitrato de calcio de 99 g con respecto a la fertilización actual del sistema.
- La radiación solar dentro del invernadero según información procesada por los autores es de 13.8 MJ/m²/día que es igual a 16240 Lux, por lo que de acuerdo con Hurtado & Merino (1987) las plántulas tienen una intensidad lumínica adecuada para su desarrollo.

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, de igual manera se debe elevar el sistema de postes en las mesas de trabajo 0,10cm adicionales.
- Se verificó 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.
- Se recomienda realizar análisis periódicos de las plántulas donde se evalúe la presencia de macro y microelementos, así como el análisis foliar para determinar 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>
- Ángeles Montiel, V., Arteago Ramírez, R., Vázquez Peña, M. A., Carrillo Gracia, M., & Ibañez Castillo, L. A. (2007). *Factores de ajuste para pérdida de carga por fricción en tuberías con salidas múltiples telescópicas o con servicio mixto*. . Obtenido de Ingeniería Del Agua: <https://doi.org/10.4995/ia.2007.2918>
- Arias Gavilanez, E. L. (noviembre de 2014). *Estudio financiero para la producción de banano (Musa sapientum), en Puebloviejo, Los Ríos, Ecuador*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3370/1/AGN-2014-T003.pdf>
- Del mar, R. (s.f.). *Proyecto de explotación agrícola en Berja*. Berja.
- Eckstein, K., & Robinson, J. C. (1995). Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish sub-group) 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
- 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
- Intagri. (2019). *Importancia de la radiación solar en la producción bajo invernadero*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/importancia-de-la-radiacion-solar-en-la-produccion-bajo-invernadero>
- Montserrat. (2005). Sistemas de riego para uso en invernaderos. 80-85.

- Ojeda, R. d. (s.f.). *Proyecto de explotación Agrícola en Berja*. BERJA.
- Olmos, S., Galdeano, E., & Luciani, S. (2010). Micropopagacion. En C. A. Biotecnología, G. Levitus, V. Echenique, C. Rubinstein, E. Hopp, & L. Mroginski (Edits.), *Biología 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
- 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
- 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 Ocutuco, 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 annuum*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5924982/>

ANEXO

Anexo 1. Tabla de la evapotranspiración por mes utilizando cropwat

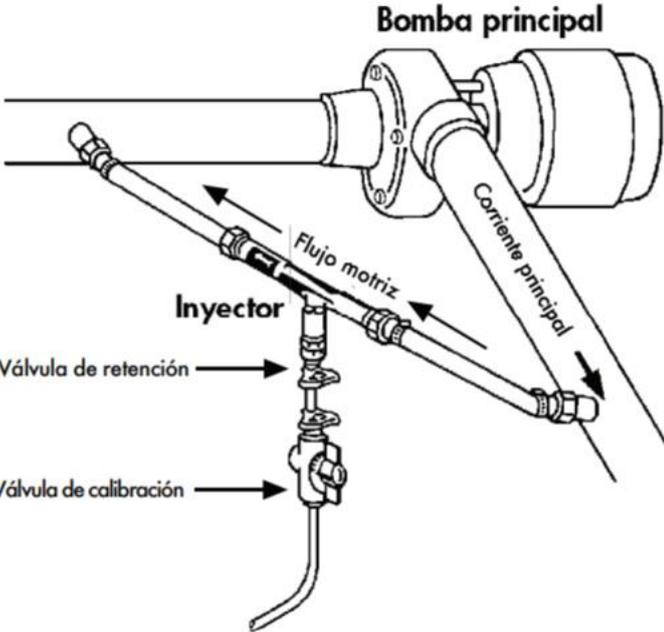
	TEMP MIN (°C)	TEMP MAX (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	VIENTO (km/día)	SOL (horas sol)	Rad (MJ/m ² /día)	Eto (mm/día)
ENERO	23,4	36,0	94	0	2,56	13,2	3,04
FEBRERO	23,3	36,1	99,55	0	2,89	14	3,21
MARZO	24,1	37,4	94	0	3,33	14,7	3,39
ABRIL	24,2	37,6	92	0	3,44	14,3	3,33
MAYO	23,4	35,3	89	0	3,12	12,9	2,91
JUNIO	22,5	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

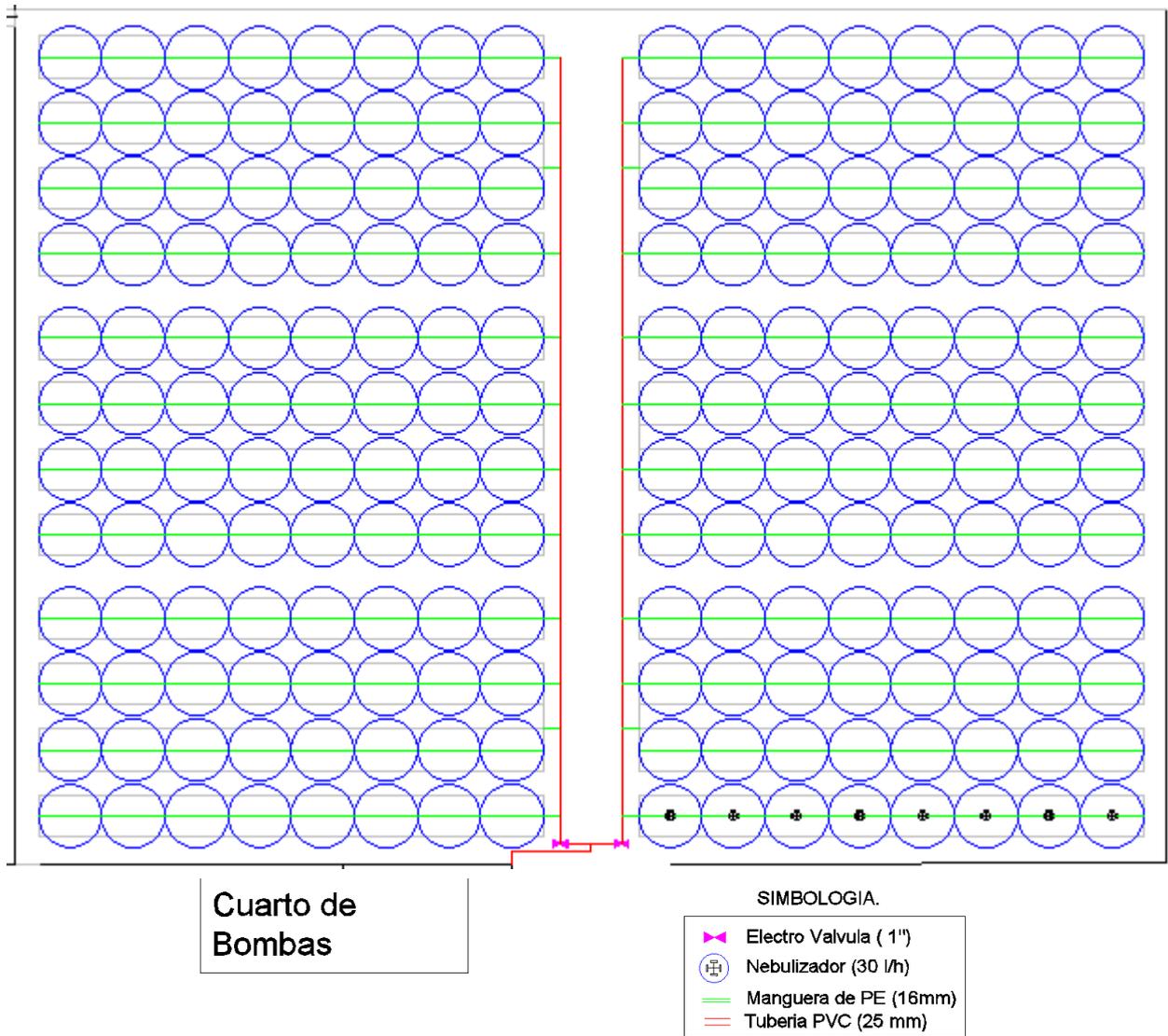
ANÁLISIS AGUA DE RIEGO		REGISTRO	COMENTARIOS
PROPIEDADES FÍSICAS			
pH	7.0		pH neutro
Conductividad eléctrica (CE ₂₅)	0.09	mS·cm ⁻¹	Salinidad: Baja
Temperatura	25		Temperatura de referencia
ANIONES			
			Suma aniones (meq/L): 0.0922769
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0.00	meq·L ⁻¹	Bajo
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	0.00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

BLD= Bajo Límite de detección

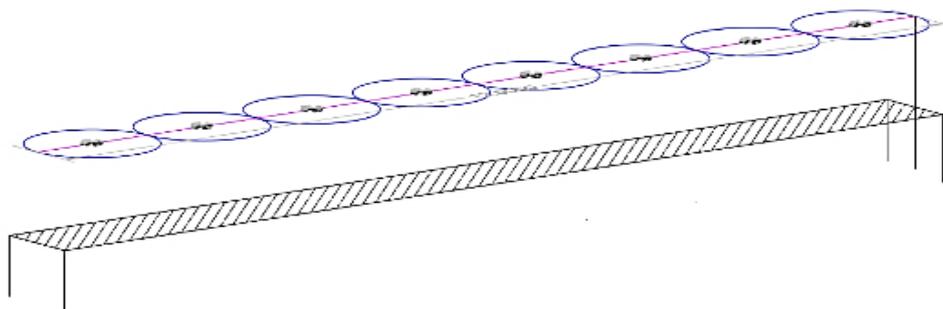
Anexo 3. Sistema de inyección para la fertilización.



Anexo 4. Sistemas de Nebulización automatizado.



Anexo 5. Mesa de cultivo con la ubicación de nebulizadores.



Anexo 6. Cuadro de rendimiento del Venturi

Modelo	287 - 1/2"		584 - 3/4"		885X - 1"		1078 - 1"		1583 - 1 1/2"		2081 - 2"		
Presión de entrada/salida Bar	Caudal L/H	Aspiración L/H	Caudal L/H	Aspiración L/H	Caudal L/H	Aspiración L/H							
1,40	0,00	122	27	980	95	1.930	455	2.700	300	5.430	680	16.350	1.930
	0,35	120	23	955	90	1.820	380	2.700	280	5.200	640	16.350	1.930
	0,70	115	13	930	50	1.730	170	2.500	190	4.910	450	16.350	1.890
	0,85	114	7	890	35	1.700	75	2.430	140	4.790	360	15.100	1.250
2,10	0,00	155	30	1.180	95	2.290	510	3.130	280	6.270	680	18.900	1.910
	0,35	155	30	1.180	95	2.275	455	3.130	280	6.270	680	18.900	1.910
	1,10	150	15	1.090	70	2.090	190	3.020	225	5.930	510	18.700	1.740
	1,80	145	0	0	0	0	0	0	0	5.560	0	17.200	150
2,80	0,00	180	30	1.320	95	2.540	530	3.540	280	7.060	680	20.900	1.890
	0,70	175	30	1.320	95	2.520	470	3.540	280	7.060	680	20.900	1.890
	1,40	170	15	1.250	75	2.430	205	3.470	270	6.860	605	20.700	1.890
	2,10	165	0	1.210	20	0	0	3.290	110	6.500	170	19.800	910
3,50	0,00	195	30	1.450	95	2.800	530	3.880	280	7.770	680	23.000	1.890
	0,70	195	30	1.450	95	2.800	510	3.880	280	7.770	680	23.000	1.890
	1,80	190	15	1.410	90	2.700	265	3.860	280	7.640	660	23.000	1.890
	2,80	185	0	1.340	5	0	0	3.650	60	7.200	55	21.600	200
4,20	0,00	210	30	1.570	95	3.040	530	4.200	280	8.400	680	25.200	1.890
	1,40	210	30	1.570	95	3.020	490	4.200	280	8.400	680	25.200	1.890
	2,10	210	20	1.570	95	2.900	300	4.200	280	8.400	680	25.200	1.890
	2,80	205	10	1.500	55	2.860	20	4.130	225	8.130	470	24.800	1.550
4,90	0,00	230	30	1.680	95	3.270	530	4.490	280	9.200	680	27.300	1.890
	1,40	230	30	1.680	95	3.270	530	4.490	280	9.200	680	27.300	1.890
	2,50	225	25	1.680	95	3.220	320	4.490	280	9.200	680	27.300	1.890
	3,90	220	0	1.620	15	0	0	4.340	75	8.650	75	25.900	450
5,60	0,00	245	30	1.770	95	3.450	530	4.930	280	9.770	680	29.100	1.890
	1,40	245	30	1.770	95	3.450	530	4.930	280	9.770	680	29.100	1.890
	2,80	240	25	1.770	95	3.380	340	4.930	280	9.770	680	29.100	1.890
	3,90	235	5	1.700	55	3.290	0	4.810	230	9.540	470	28.900	1.740
7,00	0,00	270	30	2.020	95	3.860	530	5.520	280	10.900	680	32.700	1.890
	1,40	270	30	2.020	95	3.860	530	5.520	280	10.900	680	32.700	1.890
	3,50	270	25	2.020	95	3.790	380	5.520	280	10.900	680	32.700	1.890
	5,30	265	5	1.960	45	0	0	5.400	210	10.700	340	32.300	1.290

Anexo 7. Plántulas de banano al tercer (A), decimoquinto y vigésimo cuarto (C) día de ser trasplantada

