

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias de la Vida

Optimización de la producción orgánica de hortalizas bajo sistemas controlados en la comuna Daular

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Nombre de la titulación
Ingeniero Agrícola y Biológico

Presentado por:

Angel Severo Flor Pineda

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Angel Severo Flor Pineda* y doy mi 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"

Angel S. Flor

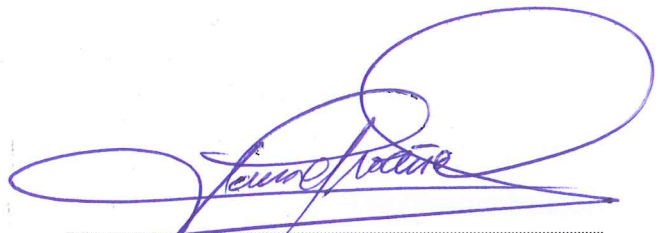
Angel Severo Flor Pineda

EVALUADORES



.....
María Isabel Jimenez Feijoo PhD.

PROFESOR DE LA MATERIA



.....
Jaime Luis Proaño Saraguro MSc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la comuna Daular, provincia del Guayas, la Autoridad Aeroportuaria decidió implementar el proyecto del nuevo aeropuerto continental de la ciudad de Guayaquil, debido a esto, se resolvió construir un invernadero de 1400 m² para la producción orgánica de hortalizas, el cual se enfoca en potencializar la mano de obra de los comuneros. Actualmente la infraestructura se encuentra en funcionamiento, proveyendo de trabajo a algunos comuneros de esa zona. Sin embargo, la falta de conocimiento agro-técnico de los trabajadores no ha permitido el correcto funcionamiento del invernadero, así como tampoco alcanzar el nivel de producción de hortalizas esperado. Tomando esto en consideración, se procedió a levantar información desde el mes de octubre del 2018 a enero del 2019 sobre el manejo del invernadero y sobre el sistema de producción actual implementado en él mismo. Para este fin, se tomaron datos como temperatura, humedad relativa y evapotranspiración dentro del invernadero, así como un diagnóstico de las camas de siembra mediante pruebas de infiltración en el sustrato junto a la medición de parámetros agronómicos de los cultivares presentes.

Una vez recopilada la información de los cultivos establecidos, se procedió a analizar los datos para proponer una alternativa de manejo y producción del invernadero en los meses subsecuentes. Primeramente, se cuantificó el consumo hídrico del sistema de producción presente como indicador de la cantidad de agua utilizada en un ciclo de producción. Posteriormente, se diseñó una nueva distribución de los cultivares dentro del invernadero, con el propósito de mejorar las condiciones del ecosistema presente dentro del invernadero. Además, se estimó la cantidad de nutrientes requerida por cultivo y por cada ciclo de producción. Con esta información compilada se estimó la capacidad de producción del invernadero y también se esquematizó una rotación de cultivos en función de la familia botánica a que pertenece cada cultivar propuesto dentro de un sistema de producción continuo de hortalizas. Finalmente se elaboró un plan de manejo de riego y fertilización de los cultivos propuestos según sus necesidades acordes a las etapas fenológicas del cultivo.

Palabras Clave: Evapotranspiración, Rotación de cultivos, Temperatura, Fertirrigación.

ABSTRACT

In the commune of Daular, province of Guayas, the Airport Authority decided to implement the project of the new continental airport of the city of Guayaquil. due to this, it was decided to build a greenhouse of 1400 m² for the organic production of vegetables, which focuses on boosting the local economy and adding jobs. Currently the infrastructure is in operation, providing work to some community members in that area. However, the lack of agro-technical knowledge of the workers has neither allowed the correct operation of the greenhouse, nor has it reached the expected level of vegetable production. Taking this into consideration, information was collected from October 2018 to January 2019 on the management of the greenhouse and on the current production system implemented. For this purpose, data such as temperature, relative humidity and evapotranspiration were taken inside the greenhouse, as well as a diagnosis of the seed beds by infiltration tests on the substrate together with the measurement of agronomic parameters of the cultivars present.

Once the information of the established crops was compiled, it was preceded to analyze the data to propose an alternative of management and production of the greenhouse in the subsequent months. Firstly, the water consumption of the present production system was quantified as an indicator of the amount of water used in a production cycle. Subsequently, a new distribution of the cultivars was designed inside the greenhouse, with the purpose of improving the conditions of the ecosystem present in the greenhouse. In addition, the amount of nutrients required per crop and per production cycle was estimated. With this compiled information, the production capacity of the greenhouse was estimated and a crop rotation was outlined according to the botanical family to which each proposed cultivar belongs within a system of continuous vegetable production Finally, a management plan was prepared and proposed for irrigation and fertilization of the crops according to their needs and according to the phenological stages of the crop.

Keywords: *Evapotranspiration, Crop rotation, Temperature, Fertigation.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	III
RESUMEN.....	IV
<i>ABSTRACT</i>	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
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.....	3
1.4.1 Producción de hortalizas bajo invernadero.....	3
1.4.2 Tipos de riego para invernaderos.....	4
1.4.3 Fertirrigación para cultivos hortícolas.....	4
1.4.4 Manejo de plagas y enfermedades.....	5
1.4.5 Rotación de cultivos.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología.....	8
2.1 Área de estudio.....	8
2.2 Análisis de la capacidad productivo bajo invernadero en Daular.....	9
2.3 Plan de rotación de cultivos.....	10
2.3.1 Distribución actual de cultivos del invernadero.....	10

2.3.2	Etapas fenológicas de cultivo	11
2.3.3	Distribución por cama de siembra	12
2.4	Sistema de Riego y Fertilización.....	13
2.4.1	Medición de la infiltración del suelo.....	13
2.4.2	Diseño agronómico del sistema de riego	13
2.4.3	Demanda nutricional para hortalizas	16
2.4.4	Dosificación de fertilizantes por etapa de cultivo.....	17
CAPÍTULO 3.....		18
3.	Resultados y análisis	18
3.1	Análisis de capacidad de producción del invernadero	18
3.2	Plan de rotación de cultivos	20
3.3	Sistema de Riego y Fertilización.....	21
3.3.1	Programa de riego.....	22
3.3.2	Programa de fertirrigación.....	22
CAPÍTULO 4.....		24
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	24
	Conclusiones	24
	Recomendaciones	24
BIBLIOGRAFÍA.....		25
ANEXOS.....		27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Métodos de aplicación de fertilizante para hortalizas en camas de siembra	5
Figura 2.1 Localización del invernadero en la comuna Daular	8
Figura 2.2 Método de medición del largo de las plantas	9
Figura 2.3 Peso de pimiento California wonder en una balanza digital camry	10
Figura 2.4 Distribución actual del sistema de producción bajo invernadero	11
Figura 2.5 Esquema de la distribución de cultivos en cama de siembra	12
Figura 2.6 Tensiómetro instalado a 15 cm de profundidad de la cama de siembra ...	13
Figura 2.7 Cenirrómetro instalado dentro del invernadero en Daular	14
Figura 2.8 Sensor digital para medir temperatura y humedad relativa dentro del invernadero	14
Figura 2.9 Medida del diámetro del bulbo húmedo en la cama de siembra	15
Figura 2.10 Profundidad de humedecimiento del bulbo húmedo	16
Figura 3.1 Gráfica del análisis de la producción actual y estimada del invernadero ..	19
Figura 3.2 Distribución de cultivos por cama de siembra para el plan de rotación	20
Figura 3.3 Gráfica de Tasa de infiltración vs. Tiempo acumulado	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de sistema de riego para invernadero	4
Tabla 1.2 Plagas en hortalizas de acuerdo con su tipo de daño.....	6
Tabla 1.3 Enfermedades en hortalizas de acuerdo con su agente causante.....	7
Tabla 1.4 Familia de plantas comunes para cultivos agrícolas	7
Tabla 2.1 Especies recomendadas para la rotación de cultivos	11
Tabla 2.2 Interpretaciones usando el método Mehlich 1 para la producción de hortalizas	16
Tabla 2.3 Requerimiento nutricionales para cultivos de hortalizas	17
Tabla 2.4 Porcentajes de aplicación de nutrientes por etapas de cultivo.....	17
Tabla 3.1 Datos agronómicos del sistema de producción en el invernadero	18
Tabla 3.2 Producción actual y estimada del invernadero de acuerdo al número de plantas	19
Tabla 3.3 Rendimiento e índice de mortalidad de las variedades sembradas	20
Tabla 3.4 Requerimiento hídrico y turnos de riego calculados con datos tomados dentro del invernadero	22
Tabla 3.5 Requerimientos nutricionales por etapa de cultivo en [kg/ha]	23

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas en invernaderos tiene ventajas frente a los cultivos producidos a campo abierto, esto se debe al control sobre parámetros agronómicos para el cuidado y crecimiento de los cultivos, tales como temperatura, humedad, riego, entre otros (Novagric, 2015). Uno de los tipos de riego utilizado en estos sistemas de producción bajo invernadero es el riego por goteo, usado para garantizar una humedad constante al cultivo y por medio de la fertirrigación que las plantas permanezcan con sus niveles nutricionales esenciales para que la producción sea óptima y evitar desperdicios de fertilizante.

Los sistemas de producción suelen ser orgánicos o convencionales (productos químicos), los agricultores se enfocan en la producción orgánica, debido a que su mercado es de precios elevados y atrae más al cliente. Además, cabe recalcar que el sistema puede ser o no ser certificado orgánicamente, esto se debe a las aplicaciones parciales de químicos como pesticidas o para el control de plagas. Una producción orgánica certificada no contempla ninguno de estos productos sin sellos orgánicos, y mantienen el sistema como una producción limpia con recursos preparados artesanalmente o de casas comerciales con certificación orgánica (Márquez, y otros, 2009).

1.1 Descripción del problema

El problema radica en el escaso conocimiento sobre procesos de planificación, manejo y rotación de la producción de hortalizas bajo invernadero por parte de los comuneros de Daular, comuna perteneciente al cantón Guayaquil, provincia del Guayas. Además, de registros de este tipo de producción bajo las condiciones climáticas del sector y el tipo de estructura del invernadero implementado por la Autoridad Aeroportuaria y con el apoyo de la Fundación Nobis para el proyecto de producción orgánica de hortalizas con el fin de brindar plazas de trabajo a los miembros de la comuna Daular.

1.2 Justificación del problema

Daular es una comuna con alrededor de 1200 familias, el cual será el punto donde planean construir el nuevo aeropuerto continental aproximadamente para el año 2026, por lo cual, las personas de la comuna con este acceso gigante a la tecnología, deberán considerar acercarse un poco a estos ámbitos modernos, por esto la Autoridad Aeroportuaria como líder del proyecto, harán posible mantener una economía para estas personas de la comuna, en base a una producción sustentable de cultivos con manejo orgánico y una comercialización fija gracias a la Fundación Nobis como principal inversionista. Entonces, existe la necesidad de intervenir en el proyecto de la Autoridad Aeroportuaria para diagnosticar, evaluar y plantear una solución respecto al plan de trabajo para el proyecto de producción orgánica de hortalizas en el invernadero de dicha comuna.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un paquete tecnológico para la producción orgánica de hortalizas bajo sistemas controlados en la comuna Daular, provincia del Guayas.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar condiciones agro-técnicas de producción de hortalizas bajo invernadero en Daular para futuras recomendaciones de los cultivares adaptados.
2. Componer un plan de rotación de cultivos para la producción continua de hortalizas con manejo orgánico en invernadero.
3. Desarrollar un programa de riego y fertirrigación para la producción orgánica de hortalizas en función a los requerimientos del cultivo.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Producción de hortalizas bajo invernadero

Dentro de la producción de cultivos bajo invernadero existen varias ventajas en comparación a los demás sistemas de producción a campo abierto, debido a que permite controlar condiciones climáticas como humedad, temperatura, viento, entre otros, evitando así, afectaciones que impacten el rendimiento. Se ha reportado mayores rendimientos en este tipo de cultivos bajo cubierta en comparación a los cultivos al aire libre, esto se debe probablemente a que las plantas se encuentran en un medio favorable y la aparición de plagas es menor (Pacheco & Navarro, 2006).

1.4.1.1 Variables meteorológicas bajo invernadero

Por lo regular, las hortalizas presentan marcados estados fenológicos en los cuales las condiciones de temperatura y humedad relativa del entorno juegan un papel vital sobre el rendimiento. Por ello, la implementación de estos cultivos bajo invernadero resulta una actividad atractiva para el productor, sobre todo cuando el sistema permite cultivar en periodos en los cuales la climatología de la zona limita el buen desarrollo del cultivo (Novagric, 2016).

El factor temperatura es una variable de importancia en la producción de cultivos bajo invernadero, ya que permite optimizar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cortina, 2016). Por otro lado, un factor de relevancia es la humedad relativa, la cual es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua que está presente en el aire y la que necesitaría contener para estar saturado a la misma temperatura (Briceño, 2012), este parámetro ayuda a que la fotosíntesis sea posible, debido a que a mayor cantidad de humedad relativa en el ambiente las plantas cierran sus estomas y evitan expulsar agua, si esto sucede, no podrán absorber más CO₂ y este es necesario para continuar con la fotosíntesis (Anthura, 2016).

1.4.1.2 Requerimientos edafológicos

La factibilidad de un terreno está determinada por las propiedades físicas y químicas del suelo en el que se vaya a trabajar, entre las físicas recalamos la textura, la estructura y la porosidad que determinan la infiltración del agua y la circulación del aire, lo cual influye directamente en el desarrollo de los cultivos, por otro lado, entre las químicas tenemos

el pH y la fertilidad del suelo, que son un factor importante en el aprovechamiento de nutrientes para las plantas (Villasanti, Roman, & Pantoja, 2013).

El cultivo de hortalizas bajo invernadero se adapta bien a suelos franco-arcillosos. Los suelos con este tipo de textura poseen una capacidad de intercambio catiónico (CIC) óptima. Es importante considerar en la elaboración del sustrato la incorporación de materia orgánica o microorganismos para la nutrición del suelo y ayudar a la planta en su alimentación. Además, modificando los niveles de arena y limo, se puede obtener niveles adecuados de infiltración, evitando la escorrentía (Bojacá & Monsalve, 2012).

1.4.2 Tipos de riego para invernaderos

La selección del tipo de riego depende de varios factores relacionados al cultivo que se disponga a sembrar (Montserrat, 2005). En la Tabla 1.1 se detallan algunos criterios para escoger el tipo de riego idóneo para usarse en invernaderos.

Tabla 1.1 Tipos de sistema de riego para invernadero

Tipo de riego	Características
Goteo	El sistema pretende localizar el agua en cada planta para que penetre directamente en el suelo que rodea las raíces, logrando así, que el humedecimiento sea uniforme.
Nebulización	Utilizado especialmente para plantas en semilleros y en macetas por la fragilidad de sus estructuras vegetales.
Mini aspersión	Usado para cultivos bajo invernadero con el objetivo de generar condiciones similares a las de una precipitación a campo abierto.

Fuente: (Montserrat, 2005)

1.4.3 Fertirrigación para cultivos hortícolas

La fertirrigación es el proceso por el cual la fertilización se realiza por medio del sistema de riego, con el fin de aportar a la planta la dosis necesaria de nutrientes a lo largo de las etapas del cultivo.

Para realizar un plan de fertirrigación, en cada una de sus etapas, es necesario tener en cuenta tres aspectos fundamentales:

- ❖ Contenido nutricional del suelo
- ❖ Requerimientos nutricionales del cultivo
- ❖ Contenido nutricional de materiales a utilizar (abonos o fertilizantes)

Para la elaboración de la fórmula de fertirriego (dosis de nutrientes) es necesario conocer previamente los requerimientos hídricos del cultivo. Por otro lado, existen diferentes métodos de aplicación de fertilizantes para cultivos sembrados en camas elevadas, en la Figura 1.1 se aprecia algunos de los métodos más utilizados.

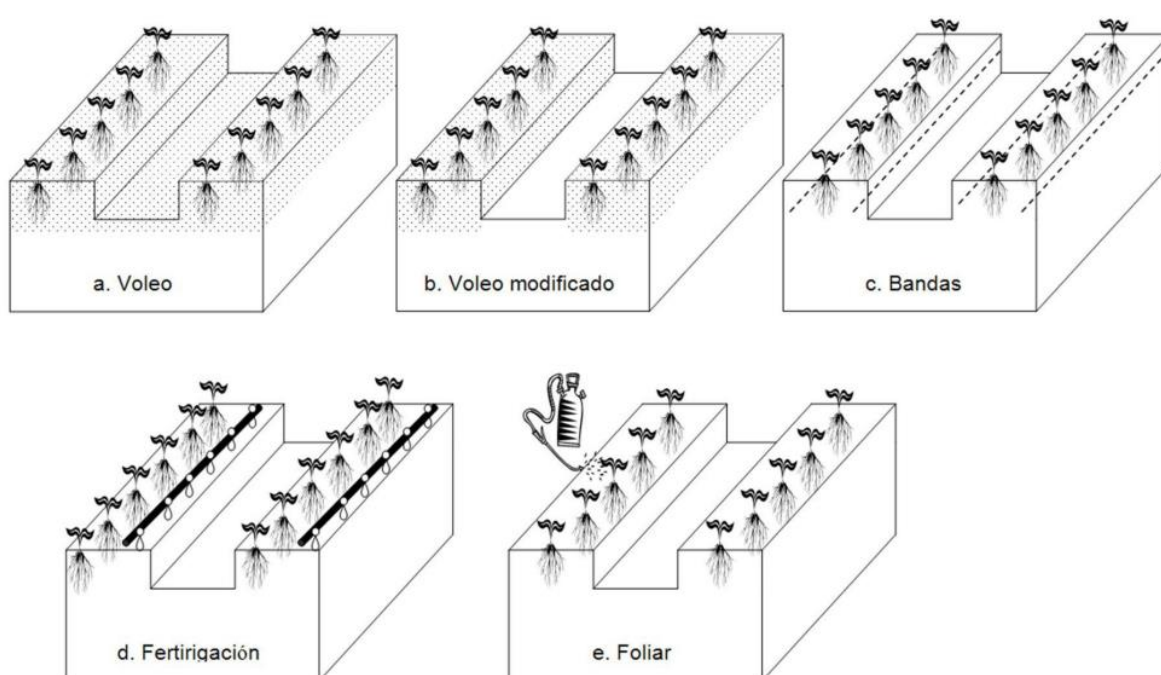


Figura 1.1 Métodos de aplicación de fertilizante para hortalizas en camas de siembra

Fuente: (Sierra, Simonne, & Treadwell, 2007)

1.4.4 Manejo de plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades en hortalizas generalmente son uno de los grandes retos para los productores debido a las importantes pérdidas que representan en su producción y los gastos que se deba realizar para su control. Se estima que aproximadamente el productor invierte un 25% del costo total de su sistema de producción para el control de plagas y enfermedades. El manejo de enfermedades es considerado muy complejo, debido a la gran cantidad de plagas existente, a tal punto que es necesario contratar personal especializado para contar con un buen control (Martinez, 2007).

Plagas más comunes en hortalizas

Los daños que las plagas pueden ocasionar a las plantas son muy variados y dependen del tipo de agente causal, en la Tabla 1.2 se muestran los más frecuentes.

Tabla 1.2 Plagas en hortalizas de acuerdo con su tipo de daño

Tipo de daño	Plagas		Características
	Nombre común	Nombre científico	
Daño al fruto y vector de virus	Mosca blanca	<i>Bemisia tabaci</i>	Ataques muy severos hacen que la planta no desarrolle ocasionando bajos rendimientos en la planta desde la etapa inicial, también produce infección por virus provocando deformidades de la planta y apariencia clorótica severa.
Daño a las hojas	Minador de la hoja	<i>Liriomyza munda</i>	Ocasionan daños fuertes al follaje, al punto que las plantas quedan defoliadas; esto minimiza considerablemente el rendimiento. Se producen además quemaduras del fruto ante el sol.
Causante de virus	Pulgón Saltador	<i>Bractericeri cockerelli Sulc</i>	Detiene el crecimiento y la maduración del fruto, los brotes florales se secan, la planta presenta un crecimiento raquítico y las hojas se tornan amarillentas.

Fuente: (Martinez, 2007)

Enfermedades más comunes en hortalizas

Los daños producidos por enfermedades son complejos y podrían ser atribuidos a otros factores, en la Tabla 1.3 se muestran los más recurrentes.

Tabla 1.3 Enfermedades en hortalizas de acuerdo con su agente causante

Enfermedad		Características
Nombre común	Agente causante	
Podredumbre blanca de los frutos	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Hongo que ataca principalmente a las hortalizas, es considerado de importancia mundial por sus daños severos a tallos en cucurbitáceas, además provoca una podredumbre blanda acuosa al inicio, que posterior se seca y aparecen numerosos esclerocios. Estos ataques al tallo con frecuencia provocan el colapso de la planta, que muere con rapidez.
Podredumbre blanda	<i>Erwinia carotovora</i>	Bacteria que ataca a las hortalizas, ingresando por heridas e invadiendo tejidos medulares. Provoca podredumbre acuosa de olor fétido y nauseabundo. Hasta que la planta muere, la bacteria posee una gran capacidad saprofítica, es decir, puede sobrevivir en el material vegetal del suelo, agua de riego y raíces de malas hierbas.
Podredumbre de cuello	<i>Fusarium solani</i>	Este hongo ataca principalmente a las cucurbitáceas y se radica en el cuello de la planta. Provoca marchitez y amarillamiento en hojas, además de necrosis en raíces principales y secundarias, ocasionando que la planta tenga un crecimiento retardado.

Fuente: (Blancard, Lecoq, & Pitrat, 1996)

1.4.5 Rotación de cultivos

La rotación de cultivos bajo invernadero es una práctica de manejo para incrementar la producción de la tierra y mejorar el uso de recursos, variando diferentes tipos de cultivos en el mismo suelo (Seminis, 2016), entonces cumple un papel fundamental para los sistemas de producción de un agricultor.

Para los sistemas de producción orgánicos la rotación es una herramienta clave en la prevención de plagas como insectos, enfermedades al suelo, control de la incidencia de malezas y el mantenimiento de suelos sanos (Dufour & Wolfe, 2015). En la Tabla 1.4 se muestran algunas de las rotaciones de cultivos sugeridas por familia.

Tabla 1.4 Familia de plantas comunes para cultivos agrícolas

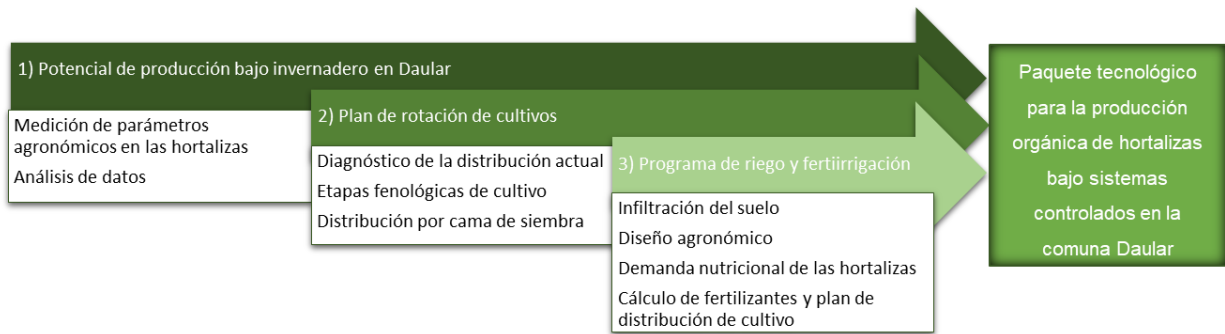
Familia	Cultivos
Leguminosas	Vainitas, arvejas, alfalfa, frijoles, trébol
Cucurbitáceas	Zapallo, pepino, melón, sandía
Solanáceas	Tomate, pimiento, berenjena, tabaco, patatas

Fuente: (Dufour & Wolfe, 2015)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta en un esquema la metodología planteada.



2.1 Área de estudio

El presente proyecto se realizó en un invernadero situado en la comuna Daular, provincia del Guayas, perteneciente a la Autoridad Aeroportuaria en conjunto con la Fundación Nobis.

Coordenadas GMS: 2°19'00.0"S 80°06'00.0"W

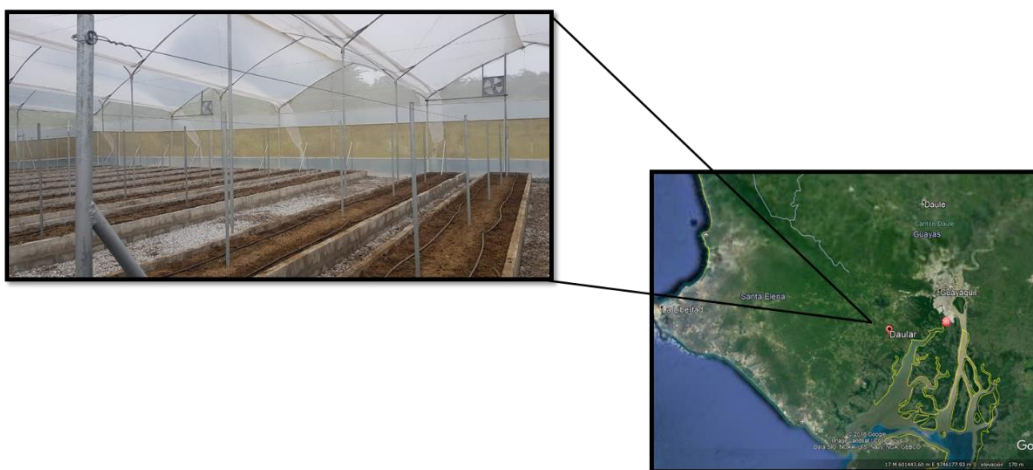


Figura 2.1 Localización del invernadero en la comuna Daular

2.2 Análisis de la capacidad productivo bajo invernadero en Daular

Para el análisis se llevó a cabo una toma de datos de crecimiento y producción con el fin comprobar la capacidad de producción actual y estimada del invernadero en Daular. La toma de datos se realizó en 3 etapas, la primera fue la medición de la altura o largo de la planta desde la base hasta la punta más larga del eje principal del tallo (Figura 2.2), se realizaron dos tomas de datos para este parámetro por cada módulo dentro del invernadero.



Figura 2.2 Método de medición del largo de las plantas

La siguiente toma de datos fue de la recolección de frutos, para esto se llevó a cabo en varias fechas y se logró estimar por variedad el número de frutos totales en cada tipo de hortaliza sembrada en el invernadero. La tercera etapa de medición corresponde al peso del fruto cosechado, se procedió a colocar cada hortaliza encima de una balanza digital camry serie EK-8A y registrar su peso, se realizó el pesaje de 50 frutos por cada variedad sembrada para poder estimar un promedio por variedad en el invernadero.



Figura 2.3 Peso de pimiento California wonder en una balanza digital camry

2.3 Plan de rotación de cultivos

2.3.1 Distribución actual de cultivos del invernadero

Actualmente el sistema de producción del invernadero contemplado del mes de octubre al mes de enero contenía los siguientes cultivos:

- ❖ Tomate Flora-dade
- ❖ Tomate Miramar
- ❖ Tomate Cherry Regy
- ❖ Pimiento Quetzal
- ❖ Pimiento California Wonder
- ❖ Pepinillo Cornichon de paris
- ❖ Sandía Charleston Gray
- ❖ Melón Máximo

La mayoría de estos cultivos cumplen un ciclo de 160 días a excepción de la sandía y el pepino que solo son aproximadamente 100 días, los periodos de cosecha son variados y se establecieron fechas para adelantar la preparación de semilleros para próximos cultivos. La distribución de cultivo se detalla en la Figura 2.4 la cual divide al invernadero en cuatro módulos, dos módulos de 10 camas de siembra c/u y los otros dos con 9 camas c/u.

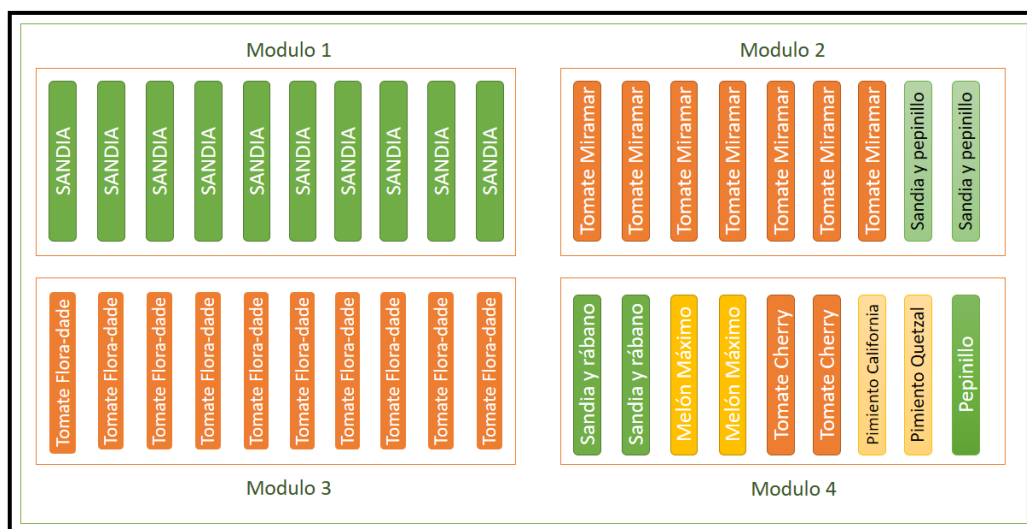


Figura 2.4 Distribución actual del sistema de producción bajo invernadero

2.3.2 Etapas fenológicas de cultivo

Se tomó en cuenta la familia y etapa fenológica del cultivo sembrado, para realizarse la rotación en las camas de siembra.

Para los cultivos considerados en el nuevo sistema de producción se comprobó también la resistencia bajo las condiciones del invernadero, descartando así ciertas variedades. Cada cultivo seleccionado para el sistema de producción cuenta con distintas etapas fenológicas, para lo cual se elaboró la Tabla 2.1 de los cultivares a sembrar de acuerdo con las especificaciones técnicas de cada semilla.

Tabla 2.1 Especies recomendadas para la rotación de cultivos

Cultivo	Nombre científico	Marco de siembra [cm]	Días del cultivo [días]
Tomate indeterminado	<i>Solanum lycopersicum</i>	0.35 x 0.90	140 - 160
Pepino partenocárpico	<i>Cucumis sativus</i>	0.35 (una hilera)	60 - 80
Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	0.30 x 0.40	30 - 40
Tomate cherry	<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>	0.35 x 0.90	120 - 140
Berenjena	<i>Solanum melongena</i>	0.6 x 0.90	140 - 160
Melón	<i>Cucumis melo</i>	0.90 (hilera)	90 - 115
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	0.30 (una hilera)	100 - 120

2.3.3 Distribución por cama de siembra

De acuerdo con los cultivos escogidos por su respectiva etapa fenológica, se determinó asociaciones en camas de siembra, para optimizar la producción de las hortalizas y minimizar el ataque de plagas como el pulgón y mosca blanca.

Así mismo, la distribución de las plantas se adecuó al espaciamiento de los goteros por manguera de riego para garantizar que cada planta reciba agua de manera proporcional, la fertirrigación estableció para ser aplicada por módulos en el caso de que se distribuyan los cultivos de la forma en que se mantenga un cultivo por modulo.

Como se muestra en la Figura 2.5 la esquematización de las camas de siembra están representadas con plantas de distintos colores, el color rojo representa a plantas de tomate cuando están como único cultivo en la cama de siembra, y la cama con plantas color verde y amarillo representan a la asociación de un cultivo de producción con la hilera sembrada de albahaca que actuara como repelente de insectos.

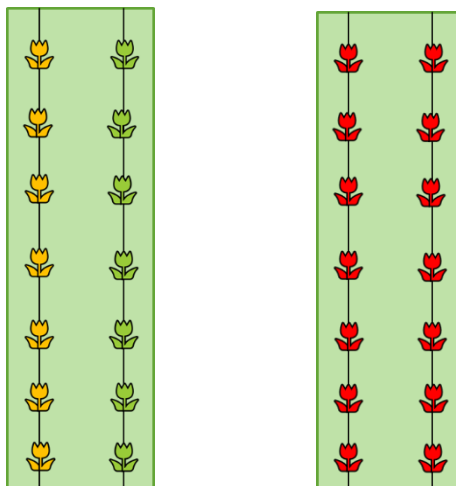


Figura 2.5 Esquema de la distribución de cultivos en cama de siembra

2.4 Sistema de Riego y Fertilización

2.4.1 Medición de la infiltración del suelo

La infiltración se determinó siguiendo la metodología de (Ibañez, Sara; Moreno, Héctor; Blanquer, Juan Manuel, 2010) con el uso de infiltrómetros de doble anillo introducidos a una profundidad de 15 cm del sustrato de la cama de siembra y realizando dieciséis mediciones a distintos tiempos. Adicionalmente, con estos datos se calculó la tasa de infiltración básica.

2.4.2 Diseño agronómico del sistema de riego

Determinación de lámina de agua

Para el diseño agronómico se determinó las necesidades hídricas de los cultivos sembrados, se analizó la serie histórica de temperatura promedio mensual mínima y máxima, velocidad del viento, horas de insolación y humedad relativa de la zona de Daular (Anexo 1), debido a que estos valores son registrados por la estación meteorológica más cercana, ubicada en Chongón y se trata de datos tomados a campo abierto, se estableció una toma de datos por medio de la instalación de 4 tensiómetros en el suelo de la camas de siembra (Figura 2.6) para obtener medidas más cercanas a la realidad del invernadero.



Figura 2.6 Tensiómetro instalado a 15 cm de profundidad de la cama de siembra

La lectura de la evapotranspiración se obtuvo mediante un cenirrómetro (Figura 2.7) instalado en el centro del invernadero y registrando tres lecturas diarias de la temperatura

y humedad relativa por medio de un sensor digital (Figura 2.8) dentro del invernadero para establecer una serie histórica real del consumo hídrico bajo condiciones protegidas.



Figura 2.7 Cenirrómetro instalado dentro del invernadero en Daular



Figura 2.8 Sensor digital para medir temperatura y humedad relativa dentro del invernadero

Se escogió el coeficiente de cultivo (K_c) para el sistema tomando como referencia el cultivo de tomate bajo invernadero en cada etapa: $K_c = 0.4$ para la etapa inicial, $K_c = 1.2$ para la etapa de desarrollo, $K_c = 0.8$ para la etapa final (FAO, 1990).

Utilizando la ecuación (2.1) de la evapotranspiración del cultivo (E_{tc}) se determinó la lámina bruta (L_b) de agua que consume el cultivo, considerando una eficiencia de aplicación de riego del 90% con la ecuación (2.2).

$$E_{tc} = E_{to} * K_c \quad (2.1)$$

$$L_b = \frac{E_{tc}}{90\%} \quad (2.2)$$

El sistema de riego del invernadero está conformado por dos mangueras de goteo presurizado por cada cama de siembra, separadas 90 cm entre sí, el modelo de manguera Dripnet PC 16150, que tiene emisores incorporados cada 30 cm y distribuye el agua con un caudal (Q_e) de 1.6 L/h a las plantas. Además, posee un sistema Venturi $\frac{3}{4}$ que inyecta 132 L/h para la fertirrigación.

Se determinó el Porcentaje de área bajo riego (P.A.R) utilizando la ecuación (2.3), estimando el diámetro del bulbo húmedo (d.b.) mediante la ecuación (2.4).

$$P.A.R. = \frac{\text{Area humedecida}}{\text{distancia del emisor} * \text{distancia de lateral}} = \frac{\frac{\pi(d.b.)^2}{4}}{d.e.*d.l.} \quad (2.3)$$

$$d.b. = \sqrt{\frac{Q_e}{Ib*0.785}} \quad (2.4)$$

Adicionalmente se midió el d.b. de forma experimental con un flexómetro y la profundidad de humedecimiento del bulbo húmedo como se muestra en la Figura 2.9 y Figura 2.10, respectivamente.



Figura 2.9 Medida del diámetro del bulbo húmedo en la cama de siembra



Figura 2.10 Profundidad de humedecimiento del bulbo húmedo

La precipitación horaria de riego (P_{hr}) se calculó usando la ecuación (2.5).

$$P_{hr} = \frac{Q_e}{d.e.*d.l.*P.A.R} \quad (2.5)$$

El tiempo de riego se determinó con los valores de lámina bruta de agua y de acuerdo a las especificaciones del sistema de riego establecido.

$$Tiempo\ de\ riego = \left(\frac{L_b}{\# \ de \ emisores * Q_e} \right) * 60 \quad (2.6)$$

2.4.3 Demanda nutricional para hortalizas

Se determinó las condiciones nutricionales del suelo mediante el método Menlich 1, este método (Pierzynski, 2000) propuesto por el Dr. Adolf Mehlich, se utiliza principalmente como un agente de extracción de elementos como K, P, Ca, Cu, Mg, Fe, Mn y Zn. Este método es muy utilizado como referencia para estimar los niveles de nutrientes en un suelo y valorar si un suelo tiene altos o bajos contenidos de los elementos a analizar.

Tabla 2.2 Interpretaciones usando el método Mehlich 1 para la producción de hortalizas

Elemento	Bastante bajo	Bajo	Medio	Alto	Bastante alto
	Partes por millón				
P	<10	10 -15	16 - 30	31 - 60	>60
K	<20	20 - 35	36 - 60	61 - 125	>125
Mg	<10	10 - 20	21 - 40	41 - 60	>60
Ca	<100	100 - 200	201 - 300	301 - 400	>400

Fuente: (Sierra, Simonne, & Treadwell, 2007)

En la Tabla 2.3 se muestran las necesidades nutricionales de las hortalizas que se implementaron en el plan de siembra, además de los cultivos contemplados en la rotación, se asume un suelo con escaso contenido nutricional para determinar una correcta fórmula de fertilizantes de inicio y para la fertirrigación en todas las etapas fenológicas.

Tabla 2.3 Requerimiento nutricionales para cultivos de hortalizas

Cultivo	pH	N		P ₂ O ₅		K ₂ O
		Kg/ha por temporada del cultivo				
Berenjena	6,5	442		121		627
Pimiento	6,5	139		57		216
Pepino	6,5	120		50		161
Rábano	6,5	101		40		110
Sandía	6	174		61.6		208.8
Tomate	6,5	269		96.8		537.6

Fuente: (Vargas, 2017) (Bertsch, 2009)

2.4.4 Dosificación de fertilizantes por etapa de cultivo

Se tomó como base nutricional la cantidad más elevada entre las necesidades nutricionales de los cultivos implementados, para este caso fue el tomate para invernadero, los valores utilizados son los estimados de la Tabla 2.3 y comparados con los datos encontrados en el libro de (Bertsch, 2009).

Se consideró cuatro etapas para los cultivos establecidos, especificando en cada etapa diferentes porcentajes por cada elemento de acuerdo con las necesidades nutricionales de la planta como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Porcentajes de aplicación de nutrientes por etapas de cultivo

#	Etapas	Días	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	CaO [%]	MgO [%]
0	Desarrollo	45	20	20	15	20	25
1	Floración	45	25	20	20	30	25
2	Fructificación	45	30	35	40	35	25
3	Maduración	25	25	25	25	15	25

Fuente: (Proaño & Chavez, 2018)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de capacidad de producción del invernadero

Se elaboró la Tabla 3.1 con los datos registrados de cada uno de los parámetros agronómicos a medirse.

Tabla 3.1 Datos agronómicos del sistema de producción en el invernadero

Cultivo	Variedad	Crecimiento máximo de la planta [cm]	Cantidad de frutos	Peso del fruto (promedio) [kg]	Peso total [kg]
Tomate	Flora-dade	114	6115	0.13	778.5
Tomate	Miramar	143,2	5401	0.13	703
Tomate	Cherry Regy	140	14133	0.01	180.3
Sandia	Charleston Gray	146.45	57	3.55	202.9
Pimiento	Quetzal	52	427	0.14	64.3
Pimiento	California W.	47	396	0.12	67.2
Pepinillo	Cornichon	112.2	834	0.31	280.1

Se elaboró la Tabla 3.2 con el total de producción actual por número de planta útil hasta el final de la cosecha, en comparación al número de plantas estimado por superficie de siembra destinada para cada cultivo, con esto se determinó el porcentaje de mortalidad y los rendimientos por cada variedad sembrada dentro del invernadero como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.2 Producción actual y estimada del invernadero de acuerdo al número de plantas

Cultivo	Variiedad	Producción por planta [Kg]	Número de plantas (actual)	Producción total (actual) [kg]	Número de plantas (estimada)	Producción total (estimada) [Kg]
Tomate	Flora-dade	1,40	558	778,5	880	1227,7
Tomate	Miramar	1,44	489	703	602	865,5
Tomate	Cherry Regy	1,24	145	180,3	172	213,9
Sandia	Charleston Gray	3,55	407	202,9	430	1526,5
Pimiento	Quetzal	1,05	61	64,3	86	90,7
Pimiento	California W.	1,18	57	67,2	86	101,4
Pepinillo	Cornichon	2,72	103	280,1	129	350,8

Se elaboró la Figura 3.1 para ver gráficamente la variabilidad que hubo por cada cultivo de acuerdo a su producción estimada.

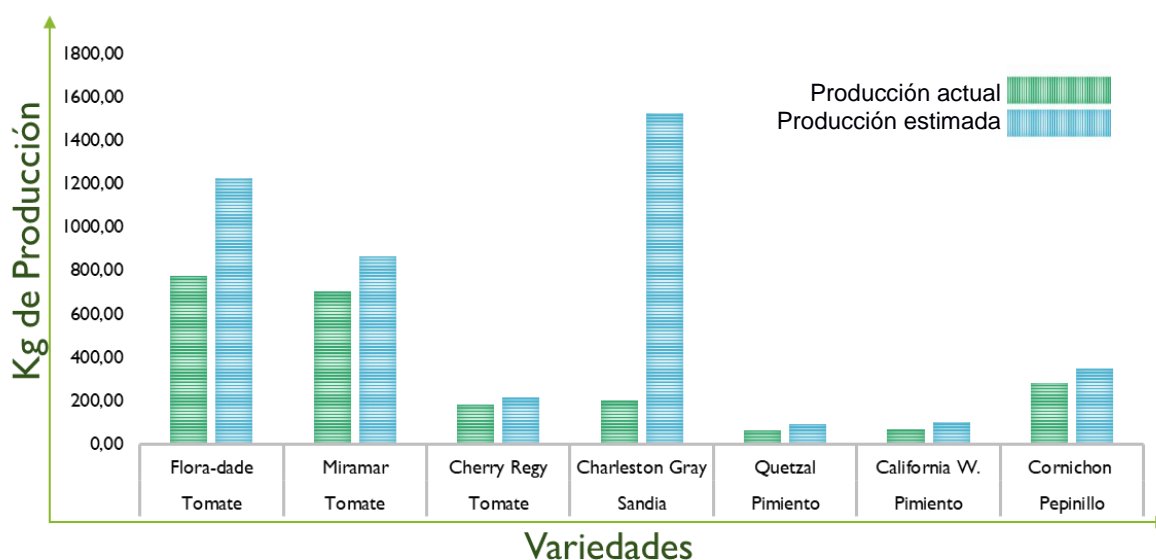


Figura 3.1 Gráfica del análisis de la producción actual y estimada del invernadero

Se recalcó el bajo rendimiento de la sandía en la Tabla 3.3 debido a que dicho cultivo para garantizar una producción de mínima de un fruto por planta es necesario que existan polinizadores dentro del invernadero para que todas las plantas puedan ser fecundadas.

Para esta producción el invernadero no contó con este sistema de polinizadores, por lo cual solo se registró una producción de 57 sandias en total.

Tabla 3.3 Rendimiento e índice de mortalidad de las variedades sembradas

Cultivo	Variedad	Producción total (actual) [kg]	Producción total (estimada) [Kg]	Rendimiento de la producción [%]	Índice de mortalidad [%]
Tomate	Flora-dade	778,50	1227,74	63,4	36,6
Tomate	Miramar	703,00	865,45	81,2	18,8
Tomate	Cherry Regy	180,30	213,87	84,3	15,7
Sandia	Charleston Gray	202,90	1526,50	13,3	5,3
Pimiento	Quetzal	64,30	90,65	70,9	29,1
Pimiento	California W.	67,20	101,39	66,3	33,7
Pepinillo	Cornichon	280,10	350,80	79,8	20,2

3.2 Plan de rotación de cultivos

La rotación que se determinó para el siguiente ciclo de producción fue acorde a las variedades sembradas anteriormente en las camas de siembra y para mantener un orden en la distribución de los módulos del invernadero, cumpliendo que los módulos 1 y 2 rotarán en el siguiente ciclo de producción con los módulos 3 y 4 porque son de familias distintas.

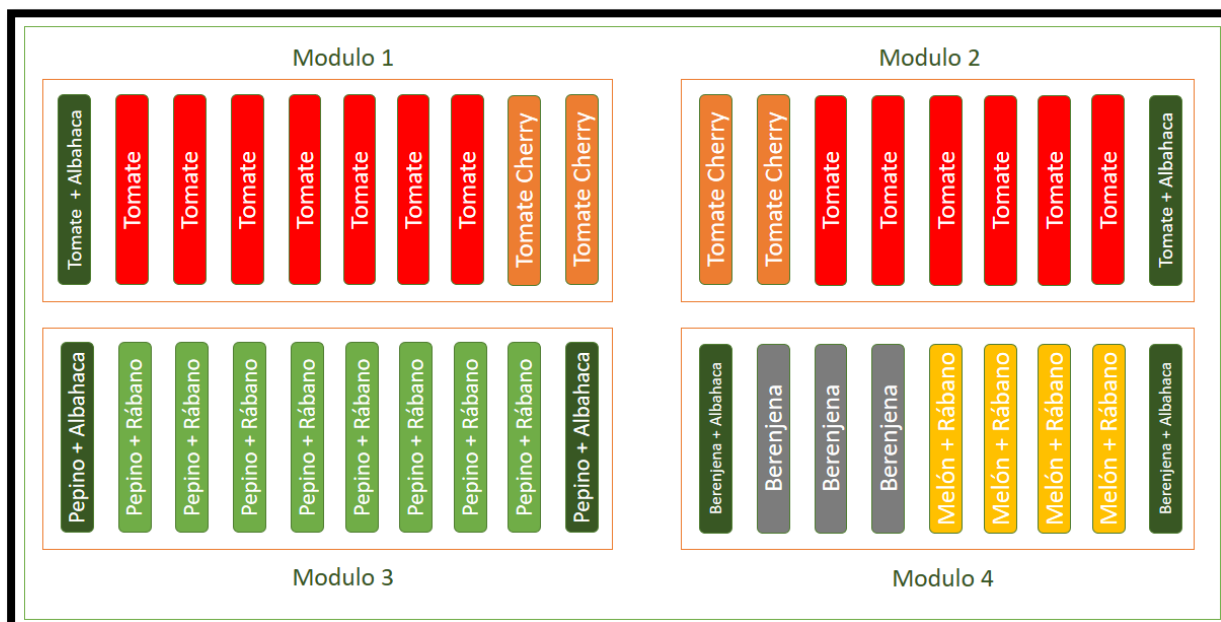


Figura 3.2 Distribución de cultivos por cama de siembra para el plan de rotación

En la Figura 3.2 se contempla la distribución para el siguiente ciclo de producción, denotando asociaciones en camas de siembra como rábano con pepino y el cultivo de albaca en las camas finales de los módulos. Esta asociación de la albaca con los cultivos se da para crear barreras atrayentes de los insectos plaga y no ataquen los cultivos de producción, la siembra de rábano se consideró para aprovechar el espacio de la cama y el tiempo de cosecha más acelerado de este cultivo, pudiendo hacer aproximadamente tres cosechas dentro del ciclo de producción de las demás camas de siembra.

3.3 Sistema de Riego y Fertilización

En las pruebas realizadas de infiltración al sustrato de las camas de siembra se obtuvo que era una mezcla de suelo de la zona con textura medio arcillosa, tamo de arroz e higuerrilla, sin una correcta uniformidad de mezcla. Esta mala distribución generó inconsistencia en ciertas camas, porque el exceso de tamo en la mezcla provocaba una infiltración de agua mucho mayor, pero al mismo tiempo, el tamo ayuda a la acumulación de humedad en el bulbo de la planta y las raíces siempre permanecen a capacidad de campo.

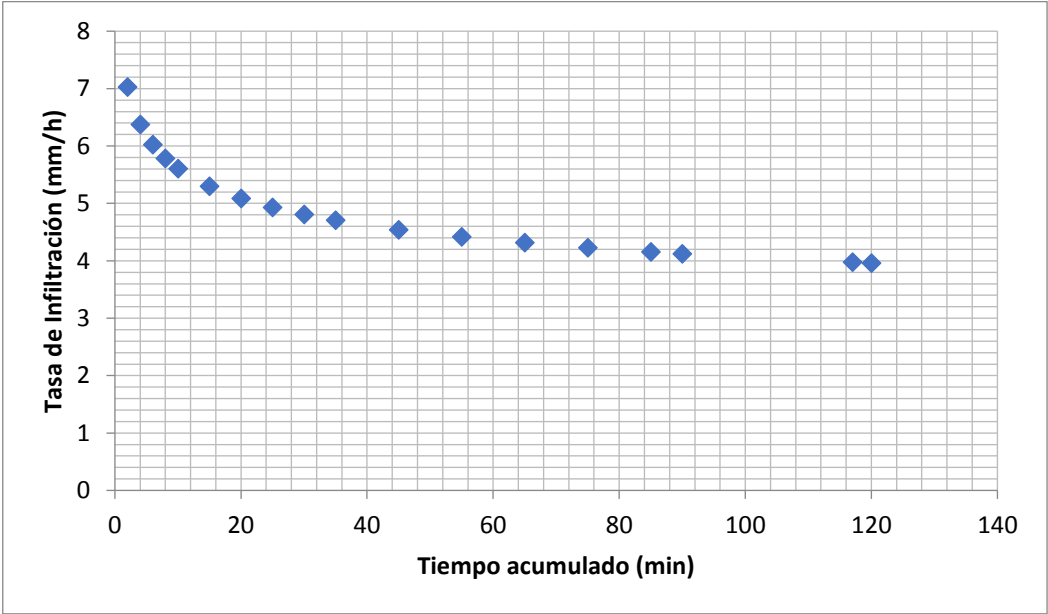


Figura 3.3 Gráfica de Tasa de infiltración vs. Tiempo acumulado

Según las pruebas de campo (Anexo 2) y como lo muestra la Figura 3.3, la infiltración básica se registra como la infiltración correspondiente al momento en que la curva se vuelve constante. Así la infiltración básica para el sustrato fue de 4.16 mm/h.

3.3.1 Programa de riego

Se aprecia en la Tabla 3.4 la lámina de agua para el ciclo del cultivo contemplado desde el mes de octubre hasta enero, el cual se estableció a 160 días dividido en cuatro etapas desde su siembra, hasta su cosecha, por lo tanto para el siguiente ciclo producción se estimó que los turnos de riego son una vez al día y el tiempo de riego promedio de 19 minutos.

Tabla 3.4 Requerimiento hídrico y turnos de riego calculados con datos tomados dentro del invernadero

Mes	L.b. (diaria)	L.b. (mensual)	Tiempo de riego por turno	Promedio de turnos de riego
	mm/día	mm/mes	min/turno	Turno/día
Octubre	1,24	38,36	11,6	1
Noviembre	1,78	53,28	16,7	1
Diciembre	2,64	81,90	24,8	1
Enero	2,61	81,02	24,5	1
Promedio	2,07	63,64	19,38	1

3.3.2 Programa de fertirrigación

Se determinó los requerimientos nutricionales a aplicarse en la solución madre que se aplicará junto al riego diario, esta mezcla está contemplada por los nutrientes esenciales para para los cultivos como se muestran en la Tabla 3.5. Además, en cada etapa se dividió la cantidad del nutriente de acuerdo con el porcentaje que necesita la planta por su curva de absorción de nutrientes (Bertsch, 2009).

Tabla 3.5 Requerimientos nutricionales por etapa de cultivo en [kg/ha]

#	Etapa	Días	N [kg/ha]	P ₂ O ₅ [kg/ha]	K ₂ O [kg/ha]	CaO [kg/ha]	MgO [kg/ha]
0	Desarrollo	45	59.78	21.51	89.60	12.44	15.68
1	Floración	45	74.72	21.51	119.47	18.67	15.68
2	Fructificación	45	89.67	37.64	238.93	21.78	15.68
3	Maduración	25	74.72	26.89	149.33	9.33	15.68
	TOTAL	160	269.00	96.80	537.60	56.00	56.44

Como se contempla en la Tabla 3.5 los requerimientos nutricionales para la fertirrigación del sistema de cultivo varía por etapas, esto sucede debido a la importancia del nutriente en ciertas etapas fenológicas de la planta, entre las cuatro etapas, la de fructificación es la que más demanda de nutrientes. En cada turno de riego inyectará la fertilización correspondiente por etapa de cultivo.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- ❖ De acuerdo a los datos obtenidos del cenirrometro se estimó alrededor de 254 mm de lámina de agua total, que se necesitó administrar a los cultivos en su ciclo de producción, por lo tanto, se fijó que los turnos de riego serán diarios y se distribuirá el riego junto con las dosis de nutrientes necesarios por etapa, inyectando la solución del fertilizante de un recipiente de 20 litros.
- ❖ En función de los datos productivos recolectados se determinó un rendimiento inferior a lo esperado, debido a las malas prácticas fitosanitarias aplicadas durante el crecimiento de los cultivos.
- ❖ Se determinó producto del análisis del esquema implementado actualmente, que la variedad y familia son críticos en la rotación de cultivos para evitar una mayor incidencia de plagas y enfermedades a futuro.

Recomendaciones

- ❖ Mejorar la elaboración del sustrato para los cultivos, aumentando la cantidad de arcillas y amenorando la de tamo de arroz para disminuir la capacidad de infiltración de suelo, generando una mayor acumulación de humedad en las raíces y disminuir en parte el tiempo de riego.
- ❖ Elaborar un plan de nutrición para la etapa de las plantas en semillero.
- ❖ Implementar prácticas fitosanitarias dentro del invernadero como trampas para el control de plagas y tener preparado repelentes orgánicos artesanales o de alguna casa comercial para aplicar a los cultivos y prevenir ataques por insectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anthura. (2 de Junio de 2016). *La importancia de la humedad en el crecimiento de las plantas*. Obtenido de Anthura: <https://www.anthura.nl/growing-advise/la-importancia-la-humedad-en-el-crecimiento-las-plantas/?lang=es>
- Bertsch, F. (2009). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. San Jose, Costa Rica: ACCS.
- Blancard, D., Lecoq, H., & Pitrat, M. (1996). *Enfermedades de las cucurbitáceas*. Madrid: Mundi-prensa.
- Bojacá, C., & Monsalve, O. (2012). *Manual de producción de pimenton bajo invernadero*. Bogota: ©Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Obtenido de http://avalon.utadeo.edu.co/servicios/ebooks/manual_pimenton/files/assets/common/downloads/Manual%20de%20producci.pdf
- Briceño, M. (2012). *Zamorano*. Obtenido de RIEGO Y DRENAJE: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1338/2/02.pdf>
- Cortina, A. (2016). *Control de la temperatura en invernaderos*. Obtenido de la Fertilidad de la Tierra: <https://www.lafertilidaddelatierra.com/que-hay-de-nuevo/en-el-huerto-ecologico/2016-control-de-la-temperatura-en-invernaderos.html>
- Dufour, R., & Wolfe, P. (2015). Hoja de Datos: Rotación de Cultivos en Sistemas Agrícolas Organicos. *ATTRA Agricultural Sustentable*, 1-2.
- FAO. (1990). Evapotranspiración del cultivo. En *Manual 56 de la FAO*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Ibañez, Sara; Moreno, Héctor; Blanquer, Juan Manuel. (2010). *CARACTERÍSTICAS DEL INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO (ANILLOS DE MUNZ)*. Valencia: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. Obtenido de http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R014_%20infiltrometro%20doble%20anillo.pdf
- Márquez, C., Cano, P., Rodríguez, N., Moreno, A., De la Cruz, E., García, J. L., . . . Garcia, C. (Agosto de 2009). PRODUCCIÓN EN INVERNADERO DE TOMATE ORGÁNICO. *I Simposio "Producción Moderna de Melón y Tomate"*, 1-4.
- Martinez, J. (2007). Plagas que atacan las hortalizas. En J. Martinez, *PROYECTO DE HORTALIZAS*. Monterrey: AgronuevoLeon.

- Montserrat, J. (2005). Sistemas de riego para uso en viveros. *EXTRA*, págs. 3-5. Obtenido de http://www.horticom.com/revistasonline/extras/2005/J_Montserrat.pdf
- Novagric. (24 de Noviembre de 2015). *Cultivos en Invernadero: INVERNADERO PARA HORTALIZAS*. Obtenido de Novagric novedades agricolas: <http://www.novagric.com/es/blog/articulos/cultivos-invernadero-hortalizas>
- Novagric. (2016). *Invernadero para cultivo de hortalizas*. Obtenido de NOVAGRIC NOVEDADES AGRICOLAS: <http://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/invernaderos-cultivos/invernaderos-hortalizas>
- Pacheco, J. A., & Navarro, S. (2006). Manejo de cultivos en invernadero. En S. Navarro, *Produccion de hortalizas bajo invernadero* (págs. 17-25). Sinaloa: Fundacion Produce Sinaloa A.C. Obtenido de <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/component/phocadownload/category/31-hortalizas?download=122:produccion-de-hortalizas-bajo-invernadero>
- Pierzynski, G. (June de 2000). Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters. (G. Pierzynski, Ed.) *Southern Cooperative Series Bulletin No. # 396*, 23-26.
- Proaño , J., & Chavez, E. (2018). Diseño de programa de fertirriego para cultivos y frutales. *Curso de fertirrigacion ESPOL*, (págs. 3-5). Guayaquil.
- Salazar, W., Rios, D., & Berania, I. (2005). *LA HORTICULTURA Y LA FRUTICULTURA EN EL ECUADOR*. Obtenido de http://www.fao.org/ag/agn/pfl_report_en/_annexes/Annex4/Ecuador/Importancer eport.doc
- Seminis. (10 de Octubre de 2016). *Claves De La Rotación De Cultivos*. Obtenido de Seminis: <http://www.seminis.mx/blog-claves-de-la-rotacion-de-cultivos/>
- Sierra, A., Simonne, E., & Treadwell, D. (2007). *Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en*. Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Departamento de Ciencias Hortícolas. Florida: Universidad de la Florida (UF/IFAS Extension). Obtenido de <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS35600.pdf>
- Vargas, A. L. (2017). *Fertilización en Cultivo de Berenjena China*. Panama: Instituto Panameño de Ganadería de Leche.
- Villasanti, C., Roman, P., & Pantoja, A. (2013). *EL MANEJO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS CON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS*. Paraguay: FAO.

ANEXOS

Anexo 1 Datos de Daular proporcionados por la estación meteorológica de Chongón

Mes	Temp. Min	Temp. Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET _o
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Octubre	21,2	30,4	69	2	3,5	14,9	3,97
Noviembre	21,4	30,6	69	2	3,3	14,3	3,9
Diciembre	22,1	31,4	70	2	2,3	12,6	3,67
Enero	23	31,7	71	2	2,9	13,7	3,84
Febrero	23,4	31,5	74	2	2,6	13,6	3,72
Promedio	22,40	31,28	71,17	2,00	2,97	13,93	3,84

Anexo 2 Datos de infiltración de suelo en camas de siembra

Diferencia de tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Infiltración (mm)	Infiltración acumulada (mm)	Tasa de infiltración (mm/h)	Tasa de infiltración promedio (mm/h)
2	2	15	15	7.02	4.16
2	4	15	30	6.37	4.16
2	6	13	43	6.02	4.16
2	8	11	54	5.79	4.16
2	10	11	65	5.61	4.16
5	15	29	94	5.30	4.16
5	20	29	123	5.09	4.16
5	25	26	149	4.93	4.16
5	30	20	169	4.81	4.16
5	35	29	198	4.71	4.16
10	45	47	245	4.54	4.16
10	55	41	286	4.42	4.16
10	65	36	322	4.31	4.16
10	75	42	364	4.23	4.16
15	90	50	414	4.12	4.16
30	120	110	524	3.96	4.16