

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias de la Vida

Sistema de producción para cultivos hortícolas en invernadero y guía metodológica para el uso eficiente del recurso hídrico en Cascajo, Galápagos.

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero agrícola y biológico

Presentado por:

Lissa Maria Aguirre Villavicencio

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado al Centro de Investigaciones Rurales, su director, Ramón L. Espinel, PhD., y Ángel Flor, MSc por brindar su valioso respaldo para el desarrollo de esta tesis.

A mi respetado profesor, Jaime Proaño, MSc., por guiarme con paciencia a lo largo de este proceso.

Agradecimientos

Gracias a mí por soportar tanto.

Quiero agradecer a mi familia, a mi padre y madre que siempre me han estado al pendiente de mí. A Julio, Meche, Daniel, Anthony, Ricky, Isa, Melissa, Nicole, Nanami, Geto, Toji y Luis por apoyarme incondicionalmente en mis momentos más difíciles de este pedacito de mi vida. Que vivan sus cálidos abrazos, que me hacen pertenecer. Gracias a mis mascotas, Calvin, Tabata, Boris, Blanca y Zas que siempre están en mi corazón.

Para ustedes, que en las noches oscuras, iluminan como estrellas el camino y en los días calurosos, son una gentil brisa que me recuerda lo bueno que es tener alguien que te diga ``¡Vamos, tú puedes!``

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Lissa María Aguirre Villavicencio 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”



Lissa María
Aguirre
Villavicencio

Evaluadores

María Isabel Jiménez PhD.

Profesor de Materia

Jaime Proaño MSc.

Tutor de proyecto

Resumen

Galápagos, reconocido patrimonio natural, recibe 268,000 turistas anualmente. No obstante, su capacidad productiva y sus limitados recursos hídricos no abastecen la demanda de alimentos, por lo que depende de importaciones de Ecuador continental. Se propuso el diseño de un sistema productivo bajo invernadero y una guía de riego mediante el análisis de condiciones agroecológicas, sociales y económicas para el incremento del abastecimiento de productos hortícolas y el uso eficiente de agua en Cascajo, Santa Cruz. Se utilizaron las plataformas Climate Data y Cropwat, diálogos semiestructurados, revisión bibliográfica y modelos productivos para elaborar la propuesta.

El invernadero consta de un área productiva de 1000 m², con un diseño que favorece la ventilación. Se recomienda sembrar pimiento y tomate a un distanciamiento de 1mx0.3m, los cuales rinden al año 9,196 kg y 13,933 kg respectivamente. La guía presenta elementos para el manejo de sistemas de riego para alargar su vida útil 10+ años y cosecha de agua. El análisis económico demuestra viabilidad financiera, con un VAN de \$10,726 y una TIR del 20%, recuperando la inversión en 3 años. La investigación resalta la importancia del diseño adaptado y la sostenibilidad para mejorar la producción local y la seguridad alimentaria en Galápagos.

Palabras Clave: riego, productividad , sostenibilidad

Abstract

Galápagos, a recognized natural heritage, attracts approximately 267,688 tourists annually. However, its limited water resources and productive capacity does not meet their actual food demand, leading to a high dependence on food imports from mainland Ecuador. This thesis proposes a design for a greenhouse-based productive system and an irrigation guide, aiming to enhance the supply of horticultural products and promote efficient water use in Cascajo, Santa Cruz. The study utilizes Climate Data and Cropwat platforms, semi-structured dialogues, literature review, and production models to formulate the proposal.

The greenhouse covers a productive area of 1000 m², emphasizing a ventilation-focused design. It recommends planting peppers and tomatoes at a spacing of 1m x 0.3m, yielding 9,196 kg and 13,933 kg annually, respectively. The guide incorporates elements for efficient irrigation system management, extending its lifespan up to 10+ years, and rainwater harvesting. The economic analysis confirms financial viability, with a Net Present Value (NPV) of \$10,726 and an Internal Rate of Return (IRR) of 20%, recovering the initial investment in 3 years. The research underscores the significance of adapted design and sustainability to enhance local production and food security in Galápagos.

Keywords: irrigation, productivity, sustainability

Índice general

Resumen	6
Abstract	7
Índice general	9
Abreviaturas	11
Simbología	12
Índice de figuras	13
Índice de tablas.....	13
Capítulo 1	15
1.1 Introducción	16
1.2 Descripción del Problema	17
1.3 Justificación del Problema	18
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	19
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
1.5 Marco teórico.....	19
1.5.1 Producción hortícola bajo invernadero	19
1.5.2 Sistema de riego por goteo	21
1.5.3 Agricultura Familiar Campesina (AFC).....	22
1.5.3 Valor Actual neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)	23
1.5.4 Desarrollo agrícola en las Galápagos	24
Capítulo 2	25
2. Metodología	26
2.1 Área de estudio	26
2.2 Análisis de información base	27
2.3 Elaboración de una guía de riego eficiente	34
2.4 Evaluación de rentabilidad de sistema de agricultura familiar campesina	35
Capítulo 3	39

3. Resultados y análisis	40
3.1 Diseño del sistema hortícola bajo invernadero	40
3.1.1 Condiciones climáticas	40
3.1.2 Información edáfica	41
3.1.3 Dinámicas productivas.....	41
3.1.4 Diseño de invernadero	46
3.1.5 Diseño agronómico	47
3.1.6 Diseño hidráulico del invernadero	48
3.2 Guía de Riego Eficiente.....	52
3.3 Evaluación rentabilidad	56
Capítulo 4	62
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	63
4.1.1 Conclusiones	63
4.1.2 Recomendaciones.....	64
Referencias	66

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

AFC Agricultura Familiar Campesina

CIR Centro de Investigaciones Rurales de ESPOL

CGREG Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

Simbología

Ha	Hectárea
m	Metros
Kg	Kilogramos
Lb	Libras

Índice de figuras

Ilustración 2.1: Diagrama de la metodología	26
Ilustración 2.2: Mapa de área de estudio Sector Cascajo	27
Ilustración 3.1 : Diagrama ombrotérmico de área de estudio	40
Ilustración 3.2: Vista lateral y frontal del invernadero.....	47
Ilustración 3.3: Esquema de subunidades con su respectiva alimentación	49
Ilustración 3.4: Diseño de tubería terciaria en software Dimsub	50
Ilustración 3.5: Diseño del reservorio y de la tubería	51
Ilustración 3.6: Disposición y distanciamiento entre tuberías.....	51
Ilustración 3.7: Inicio de guía de riego tecnificado	53
Ilustración 3.8: Diferencia de volumen captado por el reservorio y el consumo de agua del invernadero.....	54
Ilustración 3.9: Requerimientos hídricos anuales del invernadero y captación del recurso hídrico del reservorio.....	55
Ilustración 3.10: Mantenimiento, medidas preventivas y correctivas de obstrucciones de los sistemas de riego localizado	56

Índice de tablas

Tabla 1.1: Clases de gradiente de la pendiente	21
Tabla 3.1: FODA de las Dinámicas Productivas en el Sector Agrícola de Galápagos	43
Tabla 3.2 Producción de hortalizas por metro cuadrado, precio de venta estimado	44
Tabla 3.3 Matriz de selección de especies	45
Tabla 3.5: Información productiva por ciclo de tomate	57
Tabla 3.6: Varios precios de venta del tomate por libra.....	57
Tabla 3.7: Tres escenarios diferentes de ventas del tomate en de productores de Cascajo.	58
Tabla 3.8: Información productiva por ciclo de pimiento.....	59
Tabla 3.9: Varios precios de venta del tomate por libra.....	59
Tabla 3.10: Tres escenarios diferentes de ventas del tomate en de productores de Cascajo	60
Tabla 3.11: Costos operativos del invernadero	60
Tabla 3.12: VAN, TIR, Beneficio/Costo de tres escenarios económicos proyectado a 5 años	61

Capítulo 1

1.1 Introducción

Internacionalmente se reconoce al archipiélago de las Galápagos como un modelo de conservación y turismo sostenible mundialmente. En 1975 la UNESCO reconoció a las islas como Patrimonio Natural de la Humanidad debido a su excepcional fauna y flora endémica (UNESCO, 2009). Los primeros asentamientos humanos en la isla Santa Cruz datan en el primer cuarto del siglo XX con una colonia noruega, al inicio dedicándose a la pesca, recolección de frutos, caza y agricultura, la presencia de instituciones gubernamentales era mínima y la exportación de productos del continente era a menor escala, aproximadamente cada 3 meses llegaban embarcaciones (Ayala, 2015), eventualmente las colonias crecieron.

De acuerdo con el censo de 2015 la población en Santa Cruz fue de 30.000 habitantes (Ministerio de agricultura y ganadería, 2020), aproximadamente 62% del total de la población del archipiélago se encuentra en esta isla (INEC, 2015). La tendencia general de este desarrollo es el cambio de producción agrícola de subsistencia al de un mercado turístico, de conservación e investigación; de tal forma que, para abastecer esta demanda actual, se desarrolló el sector de actividades comerciales y servicios (Parque Nacional Galápagos, 2005).

Actualmente se estima que el 64% de los alimentos que llegan al archipiélago provienen de Ecuador continental para abastecer las necesidades de los residentes y población flotante. Considerando esta alta dependencia alimentaria, en la 37ava. Conferencia Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para América Latina y el Caribe, se firmó un convenio entre el Ministerio de Ambiente del Ecuador, la FAO y el Consejo de Gobierno del Régimen Especial de las Galápagos con la finalidad de realizar cambios en el sistema alimentario sustentable, inclusivo y eficiente; promoviendo la producción y la sustentabilidad ambiental vinculada con el segundo objetivo de desarrollo sostenible, Hambre cero (Loaiza, 2022).

Este Proyecto Integrador busca realizar un diseño de invernadero productivo de hortalizas, una guía de riego localizado eficiente adaptado a las necesidades de la Agricultura Familiar

Campesina en Cascajo, Santa Cruz y una evaluación económica de esta inversión. Con ello, se pretende establecer un referente de desarrollo agrícola sostenible, que permita impulsar el crecimiento de la producción de hortalizas local, precautelando la seguridad alimentaria de la isla.

1.2 Descripción del Problema

La producción agrícola en Santa Cruz se desarrolla en campo abierto, donde los cultivos quedan expuestos a escenarios desafiantes para controlar plagas, enfermedades y gestión adecuada del recurso hídrico. No se pueden aplicar plaguicidas de nivel de extremada y altamente tóxicos porque estos amenazan a la biodiversidad insular. Los factores bióticos tampoco pueden ser perturbados debido a las leyes de conservación, aunque estos afecten la productividad de la parcela y el desarrollo de sistemas extensivos de riego al aire libre, esto implica altos costos de inversión y mantenimiento (Gobierno de Galápagos, 1998).

A pesar de esfuerzos por parte del Consejo de Gobierno de las Galápagos y el Ministerio de Agricultura para contribuir con el desarrollo agrícola de las parcelas productivas en Santa Cruz, estas dependen en un 60% del agua disponible de los tanqueros que los agricultores compran regularmente. Mientras que el 18,98 % de los productores depende solo de las precipitaciones. Respecto a la infraestructura de riego utilizada, 27.78% de los agricultores no riegan sus cultivos, 18.89% de los productores realiza su riego con baldes y 16.67% lo realiza por medio de riego de gravedad.

La eficiencia de los métodos mencionados es considerablemente baja, aproximadamente de 40% a 60% de riego efectivo, en este contexto agrícola la eficiencia debe ser mejorada. La percepción general de los agricultores en Santa Cruz coincide en un 87% que la cantidad de agua de riego es insuficiente (Escudero et. al., 2019).

1.3 Justificación del Problema

Los sistemas agrícolas en las Galápagos los componen la agricultura familiar campesina, que destinan el 57 % de su producción al autoconsumo, y el resto se enfoca a la comercialización local. En el archipiélago se estima que el consumo de alimentos importados del continente es del 83 %, el consumo de producto local solo representa el 17 % de la demanda alimentaria. En general la producción agrícola en el archipiélago se considera poco rentable, lo cual incrementa el abandono de estas actividades, resultando en un bajo rendimiento (Ceproec-Senplades, 2014).

La alta dependencia en las importaciones de alimentos muchas veces genera desabastecimiento de productos, momentos críticos en los que las embarcaciones se averían, incendian o no pueden llegar al archipiélago. Por ejemplo, en junio del 2023 o la pandemia de la COVID en 2020 (La Hora, 2023), fueron situaciones en las que la población buscó otro tipo de alimentos o pagar un precio alto en el mercado.

Además, el limitado acceso a recursos hídricos en la isla Santa Cruz, y considerando que las actividades agrícolas suelen demandarlo con alta intensidad, es indispensable que el manejo del agua sea eficiente para que la producción local de la agricultura familiar campesina sea rentable y sostenible. Estas limitaciones debilitan el desarrollo de la agricultura familiar campesina en las Galápagos. A raíz de las condiciones actuales, existe un constante riesgo que amenaza la estabilidad de las actividades socioeconómicas de la población, turismo, captación de divisas, alimentación y ecosistema único (Ceproec-Senplades, 2014).

Se destaca entonces la importancia de la producción agrícola local para el sistema alimentario sostenible del archipiélago por medio de prácticas agrícolas eficientes y rentables. En este contexto, se aborda el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 2: Poner fin al Hambre y ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema productivo de cultivos hortícolas bajo invernadero y una guía de riego mediante el análisis de condiciones agroecológicas, sociales y económicas para el incremento del abastecimiento local y el uso eficiente de agua, en el sector de Cascajo, Santa Cruz, provincia de Galápagos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones edafoclimáticas, las dinámicas productivas y de mercado para el diseño de un sistema hortícola en Agricultura Familiar Campesina (AFC) bajo invernadero.
- Elaborar una guía de manejo eficiente del riego por goteo para la contribución del uso óptimo del recurso hídrico en Galápagos.
- Evaluar la rentabilidad del sistema hortícola propuesto para la determinación de su viabilidad económica.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Producción hortícola bajo invernadero

Los invernaderos son estructuras de cubiertas típicamente con material transparente o semi transparente que forman un sistema cerrado que permite tener mayor control sobre la temperatura, condiciones ambientales, humedad y radiación solar que favorece una óptima producción agrícola. Los invernaderos son esenciales para incrementar la producción agrícola en cuando los recursos son limitados (Karanisa, Achour, Ouammi, & Sayadi, 2022).

Las ventajas de la producción bajo invernadero son un mejor control de plagas y enfermedades en un ambiente cerrado y controlado, calidad y consistencia de la cosecha con menor

cantidad de defectos (López-Marín, González, Pérez-Alfocea, Egea-Gilabert, & Fernández, 2020), aumento del rendimiento por unidad superficial debido a óptimas condiciones de crecimiento, uso eficiente uso de recursos hídricos y fertilizantes y reducción del impacto ambiental de agroquímicos, reducción del impacto ambiental al requerir menos agroquímicos e insumos externos (Jagustović, y otros, 2019). En general el uso de invernaderos para la producción hortícola es viable para la producción de alimentos de calidad durante todo el año de forma ininterrumpida (López-Marín, González, Pérez-Alfocea, Egea-Gilabert, & Fernández, 2020).

Para el diseño agronómico de la producción bajo invernadero, se tiene un objetivo principal como obtener producciones en épocas poco habituales, producción ininterrumpida, etc. Para cumplir el objetivo del invernadero, se deben considerar parámetros como temperatura, humedad relativa, precipitación, luz transmisible, recursos hídricos disponibles, mano de obra disponible, pendiente del terreno, velocidad del viento y orientación del invernadero. Todos estos factores influyen en la estructura del invernadero, sus dimensiones, altura y material más apropiado para maximizar la producción (Universidad Nacional de La Plata , n.d).

La pendiente ideal para un invernadero, dependiendo del cultivo es de aproximadamente 2% hasta 6%, debido a la facilidad de flujo del sistema de riego y filtración de agua para evitar encharcamientos en el terreno (Aldrich & Bartok, 1994). Las clases de gradientes, se basan en el porcentaje de pendiente de un área para describir su inclinación, lo cual facilita la identificación de las características de la superficie de áreas productivas, como se muestra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..1.**

Tabla 1.1: Clases de gradiente de la pendiente

Clases de gradiente de la pendiente		
Clase	Descripción	%
1	Plano	0-0.2
2	Nivel	0.2-0.5
3	Cercano al nivel	0.5-1.0
4	Muy ligeramente inclinado	1.0-2.0
5	Ligeramente inclinado	2.0-5.0
6	Inclinado	5.0-10.0
7	Fuertemente inclinado	10.0-15.0
8	Moderadamente escarpado	15.0-30.0
9	Escarpado	30-60
10	Muy escarpado	>60

Fuente: Guía para descripción de suelos de la FAO, 2009

1.5.2 Sistema de riego por goteo

El riego por goteo ha sido uno de los sistemas de irrigación de mayor relevancia en sistemas agrícolas actuales dado a los múltiples beneficios que representa para la producción. Consiste en abastecer agua directamente al sistema radicular del cultivo de forma precisa, por medio de goteros o emisores que suministran un caudal determinado (Ayars, Fulton, & B. Taylor, 2015). La importancia de este sistema se centra en el uso eficiente del recurso hídrico, de tal forma que se evita la escorrentía superficial, percolación profunda y evaporación. Adicionalmente incrementa la absorción de fertilizantes, calidad y rendimiento de las cosechas (Burt, Howes, & & Wilson, 2020).

El sistema de irrigación por goteo es el más eficiente, de forma que, con la creciente escasez de recursos hídricos, es uno de los más recomendados a implementar, si se ajusta al tipo de cultivo. Existen dos tipos principales de sistemas de riego por goteo (Rodríguez-Sinobas, y otros, 2012): Riego por goteo superficial el cual consiste en que los goteros se ubican sobre la superficie del suelo. Es menos costoso, pero también menos eficiente. El riego por goteo sub-superficial, donde los goteros se entierran y aplican el agua en la zona radicular. Tiene costo mayor, pero maximiza la eficiencia.

La eficaz gestión del mantenimiento en sistemas de riego conlleva a la uniformidad en la distribución del agua, optimización del recurso hídrico y extensión significativa de la vida útil de los componentes, indicando que estas prácticas pueden contribuir a la prolongación de la funcionalidad del sistema de 10 hasta 15 años. El ahorro consiguiente, tanto en términos de agua como de recursos económicos, derivado de un mantenimiento constante y efectivo, es indispensable para la viabilidad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas con riego de goteo (Lamm & Rogers, 2017).

1.5.3 Agricultura Familiar Campesina (AFC)

La agricultura familiar campesina es uno de los pilares de la alimentación a nivel mundial, tiene un rol esencial en la seguridad alimentaria, la conservación de la diversidad agrícola y la generación de empleo rural. El 60% del consumo alimentario en Ecuador se deriva de la producción de la Agricultura Familiar Campesina (AFC) (FAO, s.f.).

La agricultura familiar campesina es uno de los pilares de la alimentación a nivel mundial, tiene un rol esencial en la seguridad alimentaria, la conservación de la diversidad agrícola y la generación de empleo rural. El 60% del consumo alimentario en Ecuador se deriva de la producción de la Agricultura Familiar Campesina (AFC) (FAO, s.f.). Este tipo de agricultura tiene como características el manejo de la Unidad de Producción Agrícola (UPA) gestionada por núcleos familiares, donde los principales actores son los integrantes de esta, son parte de todas las actividades agrícolas, la familia es responsable de la producción y gestión de las actividades agropecuarias residiendo en cercanía a la UPA y los recursos utilizados son compatibles con la capacidad de trabajo de la familia, con tecnologías y labores de acuerdo al contexto de cada país (GMC, 2007).

La AFC en las américas se encuentra en constante desarrollo, de tal forma que se reconoce su potencial para adaptación frente al cambio climático, manejo sostenible de los recursos naturales, preservación y enriquecimiento de las culturas. Este potencial cada vez tiene mayor

contemplación en la política pública, se reconoce que las acciones de desarrollo rural están evolucionando para enfrentar los problemas actuales de la AFC (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2016).

En Galápagos de acuerdo al censo agropecuario, el 45% de las UPA tienen una dimensión de 5 Hectáreas o menos, las unidades de producción que pertenecen a la categoría de Agricultura Familiar representan dos terceras partes de las UPAs totales y producen más del 50% de diversidad de cultivos como: acelga, albahaca, ají, lechuga, col morada, melón, rábano, hierba buena, plantas medicinales, entre otros (CGREC-INEC-MAGAP, 2014).

1.5.3 Valor Actual neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) son indicadores financieros utilizados comúnmente para la evaluación de rentabilidad de proyectos para tomar la decisión si es viable o no invertir en esta. El VAN representa la rentabilidad de un negocio, determinando la discrepancia entre el valor presente de los ingresos futuros esperados y la inversión inicial. Un resultado positivo indica viabilidad y rentabilidad del proyecto. El TIR calcula la rentabilidad de una inversión, representando la tasa de retorno que generará. Es esencial en la evaluación de proyectos y está estrechamente vinculado al VAN, ya que indica la tasa de descuento que iguala el Valor Actual Neto a cero (Villacorta, 2021).

Un proyecto de producción hortícola es una inversión, la cual, al ser evaluada económicamente por medio de estas herramientas, puede facilitar la toma de decisiones respecto a su ejecución. Por ejemplo, en el cantón Mira, provincia del Carchi se evaluó la rentabilidad de un invernadero que produce pimiento, que en un plazo de 5 años obtiene un VAN de 23.879,00 dólares y una TIR 17% (Imbaquingo, 2019). Es importante resaltar que los costos y ingresos en los cuales se basan estos indicadores van a influenciar en su resultado, de tal forma que la productividad de un sistema y el precio de venta son un factor que definen la viabilidad de un proyecto agrícola. El área de estudio del proyecto mencionado se encuentra en Carchi, a una altura de 2,800 msnm, lo cual repercute en la productividad del sistema.

1.5.4 Desarrollo agrícola en las Galápagos

El archipiélago de las Galápagos desde el inicio de su colonización ha incorporado las prácticas ganaderas y agrícolas de subsistencia como parte de su desarrollo como comunidad. Se han introducido especies productivas de la Costa, Sierra y Amazonía ecuatoriana, aproximadamente 750 plantas vasculares y ganado porcino, bovino, caprino, equino, aves, entre otras. (Escudero, Barrera, Valverde, & Allauca, 2019). A partir de estas especies introducidas, los sistemas agrícolas en las Galápagos se han desarrollado.

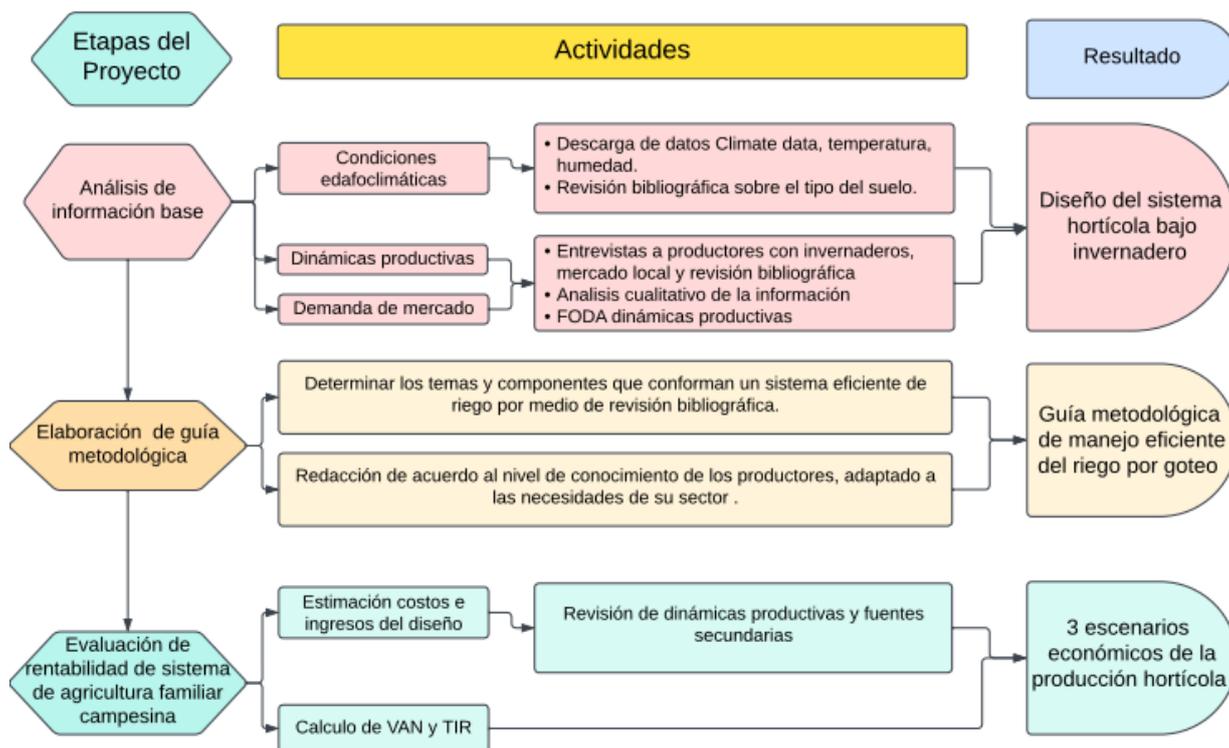
La producción en el archipiélago se encuentra limitada por varias condiciones. Geográficamente está aislado de Ecuador Continental, está a unos 1000 km de distancia, de forma que suministros como productos agrícolas, insumos y tecnología se encarece por el transporte y logística necesaria para su acceso. La extensión de suelo cultivable es limitada, debido a que el origen del archipiélago es volcánico, su suelo tiene una fertilidad y profundidad reducida, haciendo indispensable el uso de sustratos para la producción (Decker, 1994). Existe escasez de agua dulce, este recurso se obtiene principalmente captando aguas subterráneas o pluviales. Se promueven prácticas agroecológicas para preservar el frágil ecosistema insular, como la producción sustentable y orgánica. Las condiciones ambientales son variables, dependiendo del piso altitudinal en el que se encuentre el productor pueden variar las condiciones de velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación solar, vegetación presente. Las diferencias climáticas son de gran impacto entre los sectores de las islas, especialmente por sus distintos pisos altitudinales, de tal forma que se necesita la mayor precisión posible para los análisis de actividades agrícolas, es decir un mismo cantón no puede ser analizado de forma homogénea debido a la variabilidad climática entre los pisos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021). La producción se destina principalmente para abastecer la demanda interna de las islas (FAO, s.f.).

Capítulo 2

2. Metodología

El trabajo se realizó en 3 etapas, de modo que en la Ilustración 2.1 se detalla la metodología para alcanzar los objetivos.

Ilustración 2.1: Diagrama de la metodología



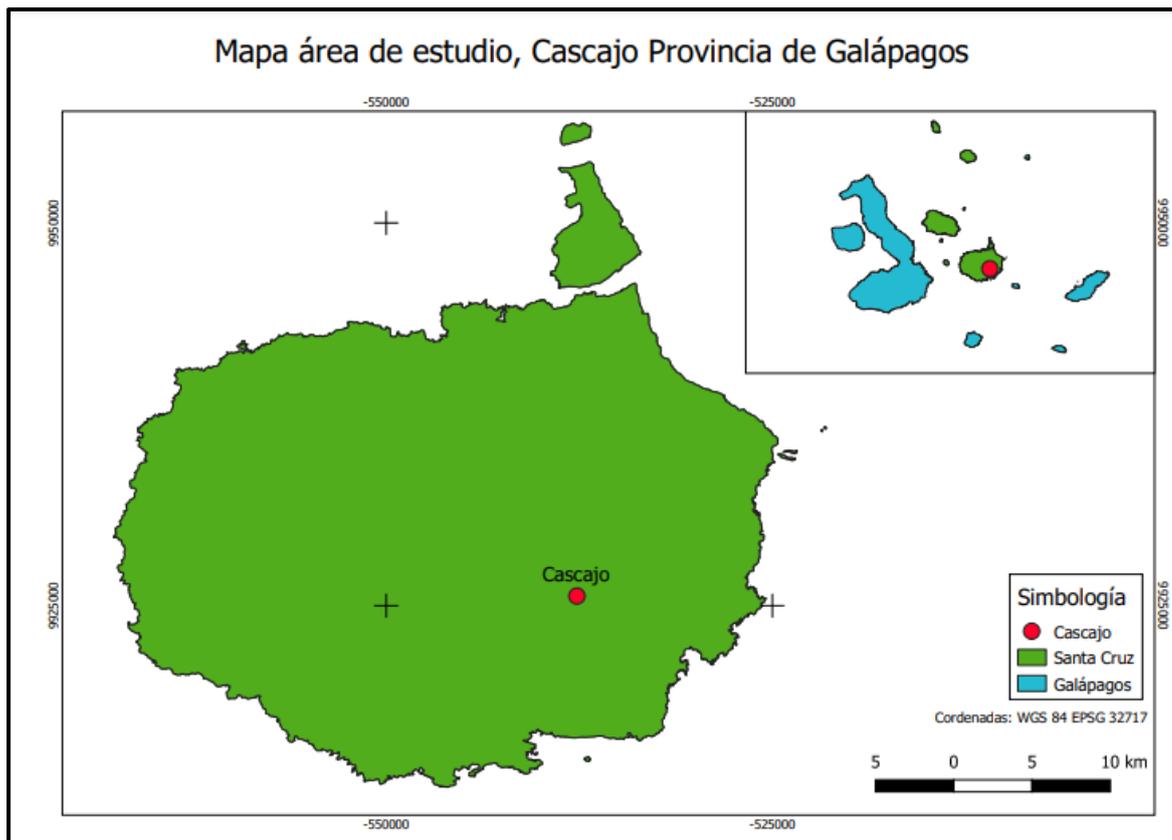
2.1 Área de estudio

El área de estudio es en el sector Cascajo, zona agrícola rural en la isla Santa Cruz.

Comprende 676 hectáreas, y se ubica en un rango de 220 a 380 msnm, como se muestra en

la Ilustración 2.2 (Gobierno autónomo descentralizado municipal de Santa Cruz, 2012).

Ilustración 2.2: Mapa de área de estudio Sector Cascajo



2.2 Análisis de información base

2.2.1 Condiciones edafoclimáticas

Se obtuvo la información climatológica de los parámetros de temperatura, precipitación y humedad relativa de la base de datos de la estación meteorológica de Bellavista que está a 6.7 km del área de estudio, operada por la universidad central del Ecuador de la página Climate data. La información fue precisa del área de estudio, considerando los diversos pisos altitudinales en Santa Cruz que pueden ocasionar grandes variaciones en las condiciones climáticas. A partir de la información se realizó un diagrama ombrotérmico.

La información edáfica comprendió la pendiente y textura del suelo de las áreas productivas. La clasificación de pendiente se basa en la *“Guía de descripción de suelos”* FAO, 2009 donde a partir de dos coordenadas geográficas obtenidos en campo, se obtiene

un porcentaje de pendiente a través del software Google Earth, dependiendo de ese valor se clasifica de forma descriptiva como se especifica en la guía.

La textura del suelo se determinó a partir del ensayo de campo “Prueba de desmenuzamiento en seco” establecido por la FAO, 2016 para la clasificación textural de las partículas.

2.2.2 Dinámicas productivas

Para el reconocimiento de las características de la AFC en el sector Cascajo, se realizó la revisión bibliográfica del reporte INIAP “*Productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria de las islas Galápagos-Ecuador*” (Escudero, Barrera, Valverde, & Allauca, 2019). También se utilizó información de un reporte interno no abierto al público “*Estudios y diseños definitivo del sistema de riego comunitario camote-cascajo del cantón santa cruz provincia de Galápagos*” (CIR, 2022) y entrevistas a productores con áreas productivas bajo invernadero.

Entrevistas: Diálogos semi-estructurados

Se realizaron entrevistas abiertas semi-estructuradas a agricultores para la obtención de información respecto a sus áreas productivas con invernaderos del sector de Cascajo con el objetivo de reconocer las tendencias actuales de la producción agrícola bajo invernadero, los cultivos con mayor rentabilidad, ingresos estimados, densidad de siembra y productos agroquímicos utilizados. En el libro de extensionismo “80 Herramientas para el desarrollo participativo”, el diálogo semi-estructurado es una técnica de comunicativa que involucra comunicación y observación de campo. Las preguntas de la herramienta se caracterizan por ser abiertas, empezando con “que”, “por qué”, “como” y se sigue la fluidez de la conversación, sin interrumpir abruptamente. Es esencial que los informantes sean representativos del grupo que se busca caracterizar, en este caso la AFC en el sector Cascajo con un área productiva con invernadero (Geilfus, 2009) .

2.2.3 Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) de las dinámicas productivas

Se realizó un análisis FODA basado en las respuestas de los productores en entrevistas semiestructuradas y observaciones en campo. Durante este proceso, se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de las actividades productivas, uso de recursos económicos y naturales, mano de obra, cultivos implementados y desafíos identificados durante las entrevistas. Esta herramienta contribuye a una base de información que sirve como fundamento para la toma de decisiones informada y la comprensión del contexto agrícola actual (Riquelme Leiva, 2016).

2.2.4 Sondeo precios de mercado

Se realizaron preguntas en locales en el mercado de Santa Cruz, de tal forma que se tenga una estimación de los precios actuales del mercado, e información general de intermediarios. Se realizaron preguntas respecto a los precios de los productos hortícolas vendidos. Se consultó a tres locales del mercado de Puerto Ayora, zona urbana de Santa Cruz. Por medio de una tabla se representan los valores de los productos y su unidad de venta.

2.2.5 Matriz de decisión

La matriz de decisión de cultivos es una herramienta que presenta una selección de cultivos que se producen en el sector Cascajo, y que a través de una serie de criterios técnicos otorga una puntuación a cada cultivo, el cual representa su valor de implementación.

Los criterios seleccionados se basan en el artículo científico de la FAO *“Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops”*, el cual explica Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) bajo invernaderos (Food and Agriculture Organization of the United

Nations, 2013). Se aclara a continuación como estos criterios contribuyen a determinar la viabilidad del cultivo:

En la matriz se consideró una evaluación cuantitativa de los criterios, estos valores están en un rango de 0 a 5. Los valores cercanos a 5 dentro de la matriz implican un impacto positivo. La suma de los puntajes de cada criterio otorgará un puntaje final, el cual a compararse con los otros cultivos contribuirá a decidir la mejor opción para el diseño.

a) Conveniencia económica:

La rentabilidad económica es esencial para el éxito a largo plazo de la actividad agrícola. La ponderación se basó en la ganancia generada en un metro cuadrado de producción (kg) donde:

- Conveniencia económica alta (5): Ingresos igual o mayores a \$18/m² por producto vendido
- Conveniencia económica media alta (4): Ingresos entre \$15/m² a \$17/m² por producto vendido
- Conveniencia económica media (3): Ingresos entre \$13/m² a \$14/m² por producto vendido
- Conveniencia económica baja (2): Ingresos entre \$10/m² a \$12/m² por producto vendido
- Conveniencia económica inferior (1): Ingresos inferiores a \$10/m²

b) Dimensiones de la planta:

Las dimensiones de la planta en un invernadero afectan directamente la capacidad de producción y eficiencia operativa. Considerar el espacio disponible permitirá maximizar la utilización del invernadero y optimizar la distribución de los cultivos.

- Densidad de siembra alta (5): 9 plantas o más por m²
- Densidad de siembra media alta (4): 6 a 9 plantas por m²
- Densidad de siembra media (3): 4 a 5 plantas por m²

- Densidad de siembra baja (1-2): 0 a 2 plantas por m²

c) Adaptación de cultivo:

Cada cultivo tiene requisitos específicos en términos de luz, temperatura, humedad y textura de suelo. Evaluar los requisitos de cultivo es esencial para garantizar que los invernaderos en Cascajo puedan proporcionar las condiciones adecuadas para el crecimiento óptimo de los cultivos seleccionados.

- Adaptación alta a la zona de estudio (5): La temperatura, humedad relativa, altitud y textura de suelo es apropiada para el cultivo.
- Adaptación media a la zona de estudio (3-4): La temperatura y humedad relativa es apropiada para el cultivo.
- Adaptación baja a la zona de estudio (1-2): La temperatura o ningún parámetro es apropiado para el cultivo.

d) Número plagas y enfermedades

El número de las plagas y enfermedades presentes en las áreas de producción contribuye a la reducción de riesgos que comprometen la productividad del sistema.

- Bajo número de plagas y enfermedades (5): Menos de 4 plagas y enfermedades afectan el cultivo en el archipiélago.
- Medio número Incidencia (3-4): 4 a 5 plagas y enfermedades afectan típicamente el cultivo en el archipiélago.
- Moderada Incidencia (2-1): Entre 5 y 6 plagas y enfermedades afectan el cultivo.

2.2.6 Diseño productivo

Se realizó el diseño del sistema hortícola bajo invernadero en base a los resultados de la matriz de decisión, donde los criterios a seleccionar de cada cultivo fueron evaluados con un puntaje. Considerando las condiciones edafoclimáticas, dinámicas productivas y

cultivos con relevancia económica el diseño productivo inició en la elección de modelo y materiales del invernadero, siendo las referencias principales ‘Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops’ FAO, 2013 y ‘Boletín INIA Captación, Acumulación, Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias’ del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, 2016.

2.2.6.1 Consideraciones para el diseño de estructural del invernadero:

Una vez seleccionadas las hortalizas, se procedió con el diseño de invernadero. Primeramente, se determinó las dimensiones del invernadero en base a las dinámicas productivas del área de estudio, obteniendo dimensiones similares a los agricultores entrevistados para tener un diseño cercano a las necesidades actuales de estos (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2016). Existen dos opciones de invernaderos con control climático, el control pasivo y el control activo, el activo requiere energía e implementos como ventiladores internos para regular la temperatura o extractores de aire, mientras que el control pasivo representa menor inversión al no poseer estos equipos, se debe escoger este sistema considerando las condiciones climáticas del área de estudio, si estas deben ser constantemente reguladas, adicionalmente el acceso a electricidad y viabilidad económica. Se recomienda que el invernadero se construya con una orientación Este-Oeste (E-O) para favorecer la transmisión de luz. Esto significa que la parte más larga del invernadero iría en la dirección Este-Oeste (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013). Adicionalmente, la presencia o ausencia de canaletas se evaluó de acuerdo con las necesidades hídricas de los productores.

Existen techos con diseños tipo elíptico, semi-elíptico, puntiagudo y con varios cenitales incorporados en diversas naves, cada forma cumple con los cuales sirven diferentes propósitos, el techo elíptico busca optimizar la distribución de la luz solar de manera uniforme en el interior del invernadero, el semi-elíptico cumple la misma función,

pero facilita la entrada de viento interna, y el techo puntiagudo es utilizado en regiones donde la acumulación de nieve debe ser prevenida. Para la elección del tipo de techo, se consideraron las condiciones climáticas de Cascajo. El grado de incidencia del techo influye en la transmisión de luz, se recomiendan pendientes de 25 a 30 grados (FAO, 2013).

Las opciones de materiales para la estructura son madera y acero galvanizado. Se consideró la durabilidad, practicidad y costo de estos para la elección. El recubrimiento del invernadero es clave para la producción, sus propiedades ópticas y mecánicas se basan en el clima y ubicación. En la producción hortícola los polímeros más comúnmente utilizados son de baja densidad (LDPE), acetato de vinilo de etileno (EVA) y acrilato de butilo de etileno (RBA). Mientras menor sea la densidad de los polímeros, menor es su peso, lo cual facilita su transporte.

2.2.6.2 Diseño agronómico

En la ejecución de los cálculos para el diseño agronómico propuesto, se utilizó una plantilla desarrollada en Microsoft Excel por Nathan & Levy, 2022. Esta plantilla se diseñó para realizar los cálculos de parámetros agronómicos de los cultivos seleccionados. Se calculan los parámetros de evapotranspiración del cultivo, precipitación horaria, intervalo de riego, lámina de riego ajustada, horas de riego por turno, dosis de riego bruta y caudal requerido del cultivo. Las ecuaciones ya se encuentran integradas en la plantilla. Véase Anexo 1.

2.2.6.3 Diseño hidráulico

La herramienta Dimsb, desarrollada por el ingeniero Jaime Arviza de la Universidad Politécnica de Valencia (Arviza, 2016). Dimsb fue utilizado para el cálculo del grosor de las tuberías del sistema de riego, las pérdidas de presión admisibles y presión necesaria para obtener un riego uniforme y eficiente en el invernadero. En el software se ingresan los datos de dosis de riego bruta, lamina de riego ajustada, y caudal requerido por

el cultivo. La aplicación fue utilizada para realizar simulaciones de riego localizado de acuerdo con las necesidades determinadas en el diseño agronómico, y nos da como resultado el grosor de las tuberías, laterales y pérdidas de presión admisibles.

2.2.6.4 Plano en AutoCAD

La representación gráfica de las dimensiones del invernadero, estructura externa, las líneas de riego se llevó a cabo mediante la utilización del software AutoCAD de Autodesk. Este programa se seleccionó por su reconocida eficacia en la creación de diseños precisos y detallados en el ámbito de la ingeniería y la agricultura. A través de AutoCAD, se elaboró un plano que proporciona una representación visual completa y detallada de la estructura del invernadero, así como la distribución de las líneas de riego calculadas en Dimsub.

2.3 Elaboración de una guía de riego eficiente

A partir de las herramientas de entrevistas semi estructuradas y FODA, se identificó la necesidad de la transferencia de conocimiento respecto al manejo de sistemas de riego y captación de precipitaciones. Se realizó la redacción de una guía de riego en la cual se consideraron aspectos generales y técnicos de los sistemas de riego, por medio de revisión bibliográfica del libro guía “Manual de riego para agricultores Riego Localizado” desarrollado por la empresa pública para el desarrollo Agrario y Pesquero de Andalucía y observaciones en campo. La guía contempla bases del riego localizado, condiciones para su implementación y mantenimiento del sistema.

Adicionalmente se utilizó de referencia el manual “Captación y almacenamiento de lluvia” de la FAO, 2013. Se utilizaron los datos de la página climate data de la estación meteorológica Bellavista y el software cropwat para calcular el requerimiento hídrico del ciclo productivo y la cantidad de agua que se puede ahorrar por medio de un reservorio.

Ecuación 1: Captación de agua del reservorio

$$Cap. Reservorio (m3) = mm\ mensual \times 0.001 \times \text{área del reservorio}$$

(2.1)

Ecuación 2: Captación de agua del invernadero

$$Cap. Invernadero (m3) = mm\ mensual \times 0.001 \times Ce \times \text{Área del invernadero}$$

(2.2)

Ecuación 3: Evaporación mensual de agua

$$Evaporación\ mensual(m3) = Eto\ mensual \times 0.001 \times \text{Área del reservorio}$$

(2.3)

Ecuación 4: Total captación de agua

$$Tot. Captación = Cap. Reservorio + Cap. Invernadero - Evaporación\ mensual$$

(2.4)

Una vez calculados estos valores, se obtienen las gráficas que representan la captación anual de agua.

Para la representación visual de esta guía se utilizó la aplicación Canva.

2.4 Evaluación de rentabilidad de sistema de agricultura familiar campesina

Se recopilaron datos sobre los ingresos y costos asociados al proyecto de implementación de invernaderos en Galápagos. Los ingresos y costos considerados son infraestructura, mano de obra e insumos, los cuales se estimaron mediante entrevistas semi estructuradas y sondeos de precios de mercado.

Se elaboró una lista de costos detallado de los materiales utilizados por los productores, siguiendo el formato establecido por el Ministerio de Agricultura de Ecuador. Esta tabla proporciona información anual sobre la cantidad y tipo de insumos necesarios para la implementación exitosa del diseño hortícola (Rucoba García & otros, 2006).

Valor Actual Neto

La evaluación de la rentabilidad del sistema productivo involucra el cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio-Costo (B/C). El VAN representa la actualización, mediante una tasa de descuento predeterminada, de los flujos netos de beneficios generados por el proyecto a lo largo de su vida útil (Hernandez et al.). La Ecuación 5 es respectiva al VAN.

Ecuación 5: Valor Actual Neto

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t} \quad (2.5)$$

Donde:

B = beneficios en cada periodo del proyecto

C_t = costos en cada periodo del proyecto

r = tasa de actualización

t = tiempo en años

(1 + r)^{-t} = factor de actualización

Para la toma de decisiones económicas, el VAN debe ser igual o mayor a cero, indicando que los beneficios presentes superan o igualan los costos.

Relación Beneficio Costo

La relación Beneficio-Costo (B/C) es el cociente entre el valor actualizado de los beneficios y los costos a una tasa de actualización predefinida. Si la B/C es menor que uno, implica pérdidas por unidad monetaria invertida, y si es mayor que uno, indica utilidad. La aceptación del proyecto se basa en que la B/C sea mayor que uno (Hernandez et al.).

Ecuación 6: Beneficio Costo

$$\text{Beneficio Costo} = \frac{\sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t}}$$

Donde:

B = beneficios en cada periodo del proyecto

C_t = costos en cada periodo del proyecto

r = tasa de actualización

t = tiempo en años

(1 + r)^{-t} = factor de actualización

Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa que iguala el valor actualizado de los beneficios y costos. La TIR expresa la máxima tasa de interés real que el proyecto podría pagar una vez recuperados los costos. Se aceptan proyectos cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de actualización seleccionada (Hernandez et al.). La tasa se obtiene a partir de la Ecuación 5 igualada a 0, en este caso se obtuvo por medio de una función de Excel.

Ecuación 7: Tasa Interna de Retorno

$$TIR = \sum_{t=1}^T B_t (1 + r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1 + r)^{-t} = 0$$

Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) es una métrica que evalúa el tiempo necesario para recuperar completamente la inversión en términos de valor presente. Este indicador ofrece una perspectiva detallada al revelar la fecha exacta, expresada en años, meses y días, en la cual la inversión inicial será totalmente recuperada (Escuela de Administración de Negocios para Graduados, 2017).

Ecuación 8: Periodo de recuperación de la Inversión

$$PRI = \frac{\textit{Inversión inicial}}{\textit{Flujo de efectivo neto anual}}$$

Inversión Inicial: El monto total de la inversión realizada al inicio del proyecto.

Flujo de Efectivo Neto Anual: Es la diferencia entre los ingresos y los egresos de efectivo en un año específico.

Capítulo 3

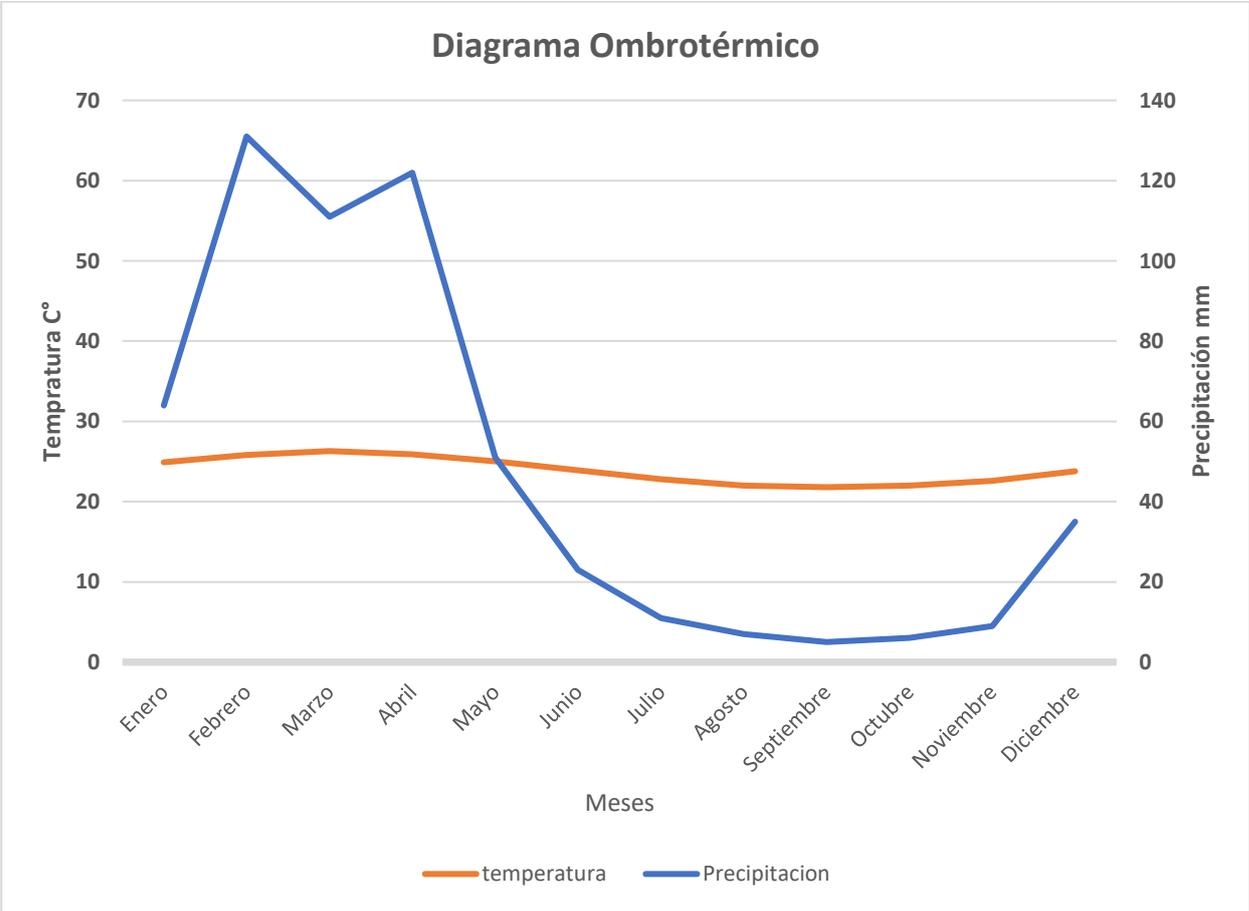
3. Resultados y análisis

3.1 Diseño del sistema hortícola bajo invernadero

3.1.1 Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas mensuales en el sector de Cascajo exhiben temperaturas promedio mínimas de 21,5°C y máximas de 25,7°C (Ilustración 3.1), denotando un clima cálido y estable durante todo el año. Asimismo, se registra una humedad relativa media de 87,50%, siendo este un indicador de alto riesgo de proliferación de hongos y bacterias en cultivos protegidos bajo invernadero. Como medida de control ante este factor, se recomienda garantizar una adecuada ventilación dentro de la infraestructura. El análisis integral de las variables climáticas permite identificar desafíos y oportunidades para el manejo óptimo de los cultivos, procurando minimizar la incidencia de plagas y enfermedades, así como asegurar el crecimiento en un ambiente controlado favorable mediante el uso de tecnologías de agricultura protegida.

Ilustración 3.1 : Diagrama ombrotérmico de área de estudio



La insolación, promediando 3.92 horas diarias, sugiere una exposición solar moderada. Esta característica es apropiada la producción hortícola local. Además, la evapotranspiración de referencia (Eto) de 3.7 mm/mensual proporciona información valiosa sobre la pérdida potencial de agua en el área, destacando la importancia de medidas para su conservación.

La precipitación anual promedio es de 575 mm, por lo que Cascajo se considera un monte espinoso según el diagrama de zonas de vida de Holdridge. La zona de estudio se caracteriza por temperaturas cálidas y humedad constante de promedio de 73%, aspectos cruciales para comprender el ecosistema local y su potencial desarrollo agrícola.

3.1.2 Información edáfica

Pendiente del suelo

La pendiente de suelo de las áreas de producción estudiadas tuvo un promedio de 0 a 2.2%. Según la información de la tabla 1, el sitio de estudio posee un gradiente de la pendiente de tipo “Muy ligeramente inclinado”. La baja inclinación de las áreas de producción facilita la instalación de invernaderos y sistemas de riego para la producción hortícola, favoreciendo la uniformidad de la distribución de agua.

Textura del suelo

En las camas de los cultivos, el suelo tiene textura predominantemente franca. El suelo es volcánico rocoso, por lo que las camas de producción tienen un suelo franco originado a partir de humus y restos orgánicos que facilitan la producción de hortalizas.

3.1.3 Dinámicas productivas

Los productores con invernaderos en el sector de Cascajo poseen invernaderos de entre 800 y 1200 m². Los cultivos principales son hortalizas como tomate, pimiento, albahaca, hierbita y brócoli. Para el tomate, la variedad utilizada es Pietro, y para el pimiento, las variedades cuerno de toro, Nathalie e Itamaro.

La adquisición de semillas en Cascajo se da por medio de importaciones de Ecuador continental. Típicamente, presentan un porcentaje de germinación del 95% en Tomates y Pimientos. Además, son comercializados en presentaciones de 1000 unidades con un costo variable de 70 a 80 USD. Los distanciamientos entre las planas de tomate son típicamente entre 35 cm entre plantas 1.50 m entre hileras y pimiento entre 45 cm aproximadamente, aproximadamente 1.70 m entre hileras. El sustrato de aplicado a partir de la necesidad de materia orgánica para las plantas, ya que el suelo volcánico es inerte carente de nutrientes.

La capa de suelo la componen agregados como gallinaza y melaza, tratada durante unos 8 meses y luego aplicada sobre las camas de siembra. Adicionalmente, ciertos productores realizan aplicaciones de fertilizantes como Yaramila, que tiene un valor de USD 70 por saco. También se utilizan productos químicos como Bravo (clorotalonil), Cyperpac (cipermetrina), extracto de algas, Cabrio Top (metiram y piraclostrobina), Acetalaq (acetamiprid) y extracto de neem; estos compuestos son utilizados para combatir hongos, minadores, mosca blanca, entre otros. En la encuesta al preguntar cómo actúa cada compuesto, se observó que a veces se realizan aplicaciones sin considerar el objetivo a eliminar. Por ejemplo, el uso de un fungicida para eliminación de mosca blanca.

La AFC utiliza principalmente mano de obra familiar como padres, hermanos e hijos; la mano de obra externa suele tener pagos mensuales variando de USD 600 a 700 de lunes a sábado, dependiendo de si el contratista ofrece alimentación o no. En una UPA en Cascajo, hay 3 trabajadores para las labores de un invernadero de 1000 m².

El agua utilizada para regar proviene de dos fuentes, reservorios que captan agua de precipitaciones o tanqueros. El costo de cada tanquero es de aproximadamente USD 40 a 70, por un volumen de 11 m³, requiriendo recarga periódica, mientras que los reservorios propios tienen las dimensiones dependientes de la inversión de los propietarios. El riego se realiza con una frecuencia de cada 3 a 2 días, donde hay una división de 2 a 4 módulos en todo el invernadero dependiendo del productor.

El costo de un invernadero puede tener diversos valores, dependiendo de su material, diseño, e incluso método de adquisición. Uno de los productores compró su invernadero de 1000 m² en USD 15 000 a una asociación de agricultores que realizó una liquidación. Por otra parte, otros han invertido aproximadamente USD 30.000 en la construcción de un invernadero de las mismas dimensiones, sin incluir el sistema de riego u honorarios de los ingenieros que realizaron el diseño.

Se realiza la cosecha de forma semanal, donde los productos son comercializados de dos a tres días a la semana en mercados de Santa Cruz, restaurantes u hoteles, dependiendo de los contactos que tenga el productor. Se realiza mantenimiento de la infraestructura como el lavado semestral del techo y reemplazo de plásticos cada 3 a 5 años.

Tabla 3.1: FODA de las Dinámicas Productivas en el Sector Agrícola de Galápagos

Fortalezas	Oportunidades
Variedad y Especialización: La diversificación en la producción de pepino, pimiento y tomate, con variedades especializadas, fortalece la oferta y responde a la demanda del mercado.	Demanda en el Mercado Turístico: La presencia de turistas en las Galápagos representa una oportunidad para expandir la comercialización, ofreciendo productos frescos y locales.
Infraestructura Sólida: La adquisición de invernaderos bien establecidos proporciona una base sólida para la producción, asegurando condiciones controladas y protección de cultivos.	Potencial de Expansión en Variedades: La introducción de nuevas variedades o la ampliación de la gama de productos podría atender a nichos de mercado específicos y aumentar la competitividad.
Utilización de Fertilizantes Biológicos: La incorporación de insumos orgánicos, como la Yaramila, resalta un enfoque hacia la sostenibilidad y la salud del suelo. Existe un acercamiento a prácticas de manejo sostenible.	Integración de Prácticas Sostenibles: La conciencia ambiental creciente puede abrir oportunidades para la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y certificaciones ambientales.
Debilidades	Amenazas
Limitada Participación Familiar: La ausencia de la participación familiar puede afectar la eficiencia laboral y la transferencia generacional de conocimientos.	Cambios Climáticos: Las variaciones en las condiciones climáticas, especialmente la humedad y temperatura, representan una amenaza potencial para la producción y requieren estrategias de adaptación.
Dependencia de Tanqueros para el Agua: La dependencia de tanqueros para el suministro de agua puede implicar costos recurrentes y vulnerabilidad a interrupciones en el suministro.	Competencia de Productores Externos: La competencia con productos agrícolas importados del continente podría impactar los precios y la participación en el mercado local.
Ausencia de Rotación de Cultivos: La falta de rotación de cultivos podría aumentar el riesgo de problemas de suelo y plagas a largo plazo.	Riesgos Sanitarios y Plagas: La alta humedad y la falta de rotación de cultivos pueden aumentar la susceptibilidad a enfermedades y plagas, amenazando la salud de los cultivos.

El análisis FODA de la revela que los agricultores de Galápagos tienen fortalezas en la diversificación de productos y en el desarrollo de invernaderos y prácticas sostenibles. Se identificaron oportunidades en el mercado turístico. Sin embargo, se destacó como debilidad la alta dependencia de fuentes externas de agua para riego, como los tanqueros, lo que implica costos recurrentes y vulnerabilidad ante interrupciones en el suministro. Además, se recalca la necesidad de la autonomía hídrica a través de sistemas propios de recolección. También se señala como amenaza principal la competencia de mercado con las importaciones desde el continente, los cuales tienen envíos recurrentes a las islas, las ventas se realizan a mayor volumen y con regularidad. Finalmente, las plagas y enfermedades se controlan con agroquímicos de categoría cinta verde, de mediana toxicidad, esta limitación afecta el rendimiento de la producción local.

Tabla 3.2 Producción de hortalizas por metro cuadrado, precio de venta estimado

Producto	Kg/m2	USD/ kg	USD/m2
Tomate	10,0	2,20	22,00
Pimiento	15,0	1,67	25,00
Hierbita	1,8	5,56	10,00
Melon	8,0	1,38	11,00
Menta	6,0	2,00	12,00
Hierbabuena	2,0	5,00	10,00

En base a el sondeo de precios de mercado de hortalizas, la tabla Tabla 3.2 detalla la producción estimada por metro cuadrado de cada cultivo. Se destaca que las hortalizas con mayor ingreso por metro cuadrado son el tomate, pimiento y menta. Estos precios pueden variar hasta un 25% dependiendo del abastecimiento de importaciones de hortalizas de Ecuador continental, y demanda originada por el tráfico de turistas en las islas.

3.1.3 Selección de especies

Tabla 3.3 Matriz de selección de especies

Criterios	Especies					
	Tomate	Pimiento	Hierbita	Menta	Melón	Hierba Buena
Conveniencia Económica	5	5	2	2	2	2
Dimensiones de la Planta	4	4	5	5	2	4
Adaptación de Cultivo	5	5	4	3	4	3
Numero de plagas y enfermedades	2	3	4	4	2	3
Total	16	17	15	14	10	12

En la Tabla 3.3 se observa que, en términos de conveniencia económica, tanto el tomate como el pimiento obtuvieron la puntuación más alta, con un puntaje de 5, indicando su viabilidad económica destacada. Por otro lado, el tamaño de la planta también fue un criterio importante, y en este aspecto destacó el pimiento con una puntuación de 5, mientras que la hierba buena tuvo la puntuación más baja con 2.

En cuanto a la adaptación del cultivo, el tomate y el pimiento obtuvieron puntuaciones elevadas, indicando su capacidad para adaptarse a las condiciones locales. Sin embargo, la hierbita y la menta mostraron adaptación moderada, y el melón y la hierba buena tuvieron adaptaciones más bajas. El pimiento obtuvo la puntuación más alta, destacándose por su conveniencia económica, dimensiones de planta adecuadas, buena adaptación y una incidencia de plagas y enfermedades moderada.

Los cultivos seleccionados a partir de los resultados de la matriz son el Tomate, Pimiento como cultivos principales, destacando su importancia económica. La hierbita, menta y hierba buena son consideradas como opciones para rotación de cultivo, aportando diversidad al diseño agronómico y aportando al control de plagas por sus propiedades organolépticas.

3.1.4 Diseño de invernadero

La elección de instalar un invernadero multitúnel con techo semi-elíptico y apertura cenital para el cultivo de tomates y pimientos implica una cuidadosa consideración de varios factores clave que afectan directamente el rendimiento y la eficiencia operativa del sistema. Las dimensiones del invernadero, 40x25 m, son ideales para las dimensiones de áreas productivas en el sector Cascajo. Con un espacio de 1000 m², es adecuado para una cantidad significativa de plantas y labores en una UPA de categoría AFC.

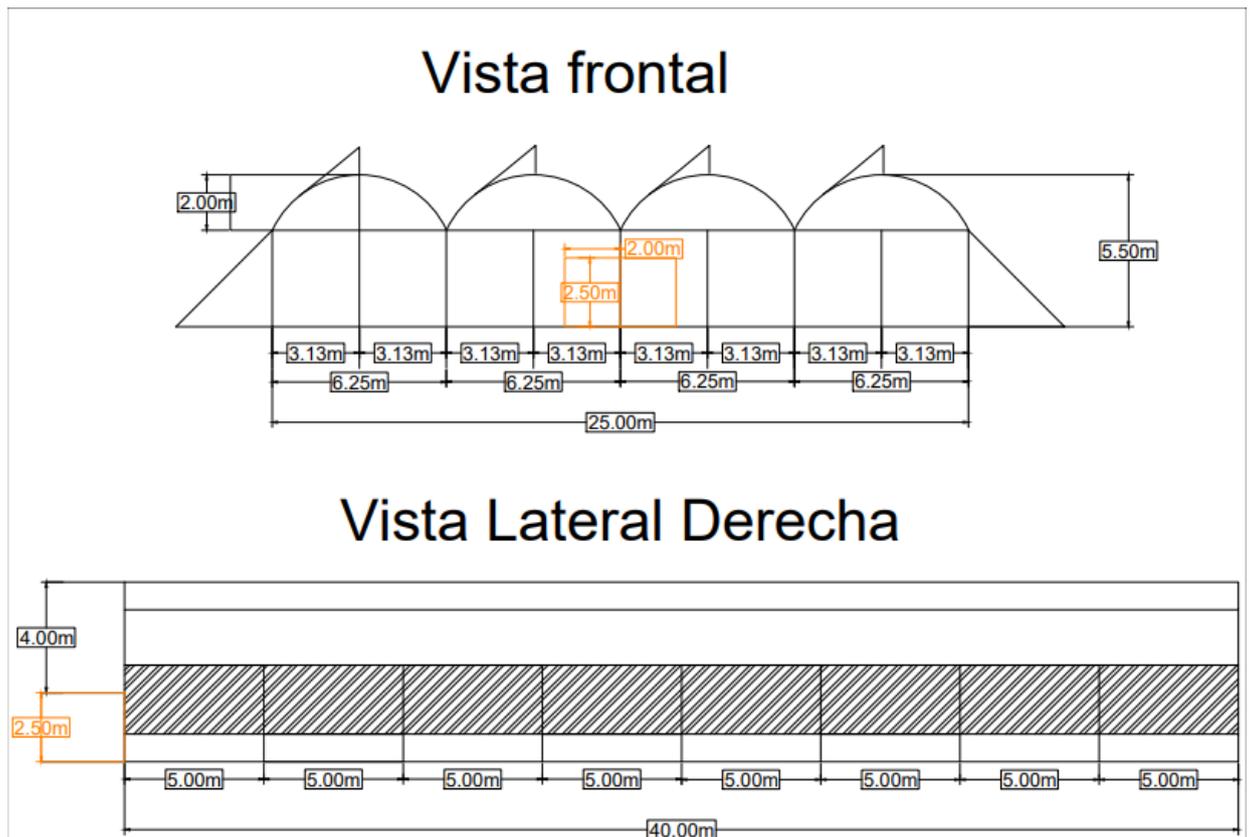
Se seleccionó el control climático pasivo debido a la limitación de electricidad en el sector y eficiencia energética de la estructura. El diseño del techo semi-elíptico es una elección estratégica que busca maximizar la captación de luz solar, favorece una distribución más uniforme de la luz durante diferentes momentos del día y las estaciones, lo que beneficia el crecimiento de las plantas. Además, la apertura cenital es esencial para la ventilación y el control de la temperatura dentro del invernadero debido a su humedad relativa promedio del 87.5%. Cuatro cenitales facilitan la circulación del aire, evitando problemas como el sobrecalentamiento y la acumulación de humedad.

En los lados del invernadero, hay aperturas con recubrimiento de sarán, como se aprecia en la ilustración 4 de la vista lateral derecha, lo cual posibilita la ventilación y su cierre para protección contra la entrada de insectos plagas, contribuyendo así a preservar la salud de los cultivos hortícolas y mitigar potenciales amenazas. El recubrimiento del resto del invernadero es con el polímero EVA transparente, que tiene resistencia a rayos UV y transmisibilidad de luz solar.

El diseño del invernadero se elaboró con el software AutoCAD, donde se definió con precisión las dimensiones y la distribución de los elementos que lo componen. En la ilustración 4 se presentan las dimensiones de forma precisa la vista frontal y lateral derecha de la estructura. El material seleccionado para la estructura es el acero galvanizado, por su durabilidad y practicidad para mantener el invernadero, su resistencia permite mantener el recubrimiento correcto y soporte para cultivos internos de hortalizas que requieren tutores como pimiento o tomate.

En el diseño se debe considerar la incorporación de canaletas al final de los cenitales, que permitan captar agua a partir de precipitaciones. En las cercanías del invernadero, debe existir un embalse o reservorio de agua que permita el almacenamiento de este recurso, las dimensiones recomendadas son de 15mx17mx2m.

Ilustración 3.2: Vista lateral y frontal del invernadero



3.1.5 Diseño agronómico

Tomate (*Solanum lycopersicum*)

El diseño agronómico aplicado al cultivo de tomate de variedad Pietro en el invernadero se encuentra detallado en el anexo 2. Se resalta el tiempo de riego, establecido en 1.23 horas, el cual es un tiempo ideal para las actividades operativas de los agricultores. La subdivisión del área en 4 módulos de riego emerge como una estrategia efectiva para ejercer un control más preciso sobre la distribución del agua, optimizando su aplicación y favoreciendo una cobertura uniforme en todo

el cultivo. El cálculo del caudal necesario para el sistema de riego por goteo es de 1 m³/h. Los valores determinados establecen el mínimo de requerimientos hídricos y equipo de riego para la producción de tomate bajo invernadero en un área de 1000 m².

Pimiento (*Capsicum annuum*)

De la misma forma, se ejecutó el diseño agronómico para el cultivo de pimiento variedad Nathalie, cuyos resultados, a pesar de ser coincidentes con los obtenidos para el tomate, demandaron un proceso de comprobación adicional. Los resultados obtenidos del diseño agronómico para el cultivo de tomate en el invernadero están en anexo 3. Entre los resultados se destaca que el tiempo de riego estimado fue de 1.23 horas, lo cual se ajusta a las necesidades de los productores. La segmentación en 4 módulos de riego proporciona un mayor control sobre el agua suministrada al cultivo. El caudal requerido para el sistema de riego gotero es de 1 m³/h, lo que ayuda a determinar los diámetros de las tuberías, así como la potencia de la bomba de agua necesaria.

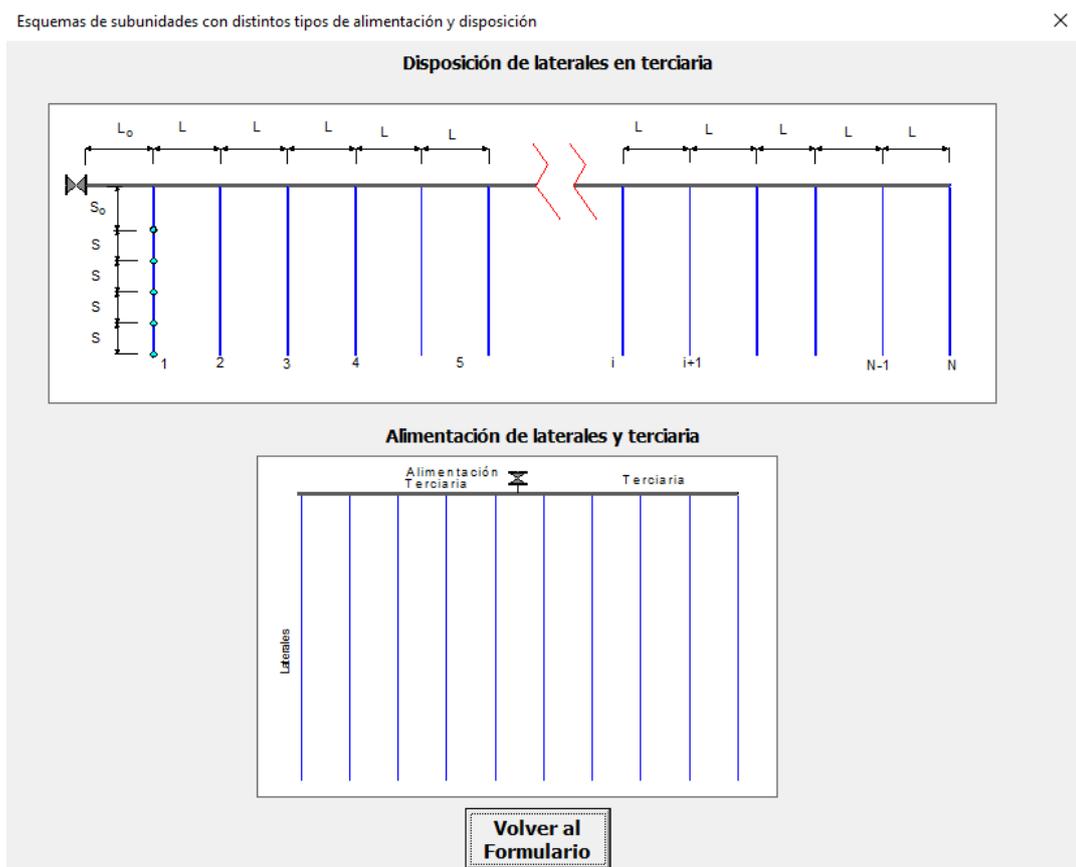
3.1.6 Diseño hidráulico del invernadero

El diseño hidráulico del invernadero constituye una faceta crítica que abarca la configuración del reservorio de agua, la red de tuberías y la disposición de los emisores encargados de suministrar agua a las plantas. De acuerdo con el diseño agronómico, se ha procedido a dividir la estructura en cuatro módulos de riego, cada uno equipado con una válvula posicionada estratégicamente en el punto medio de las tuberías terciarias. La tubería principal, por su parte, atravesará el centro del invernadero (Ilustración 3.5).

Mediante el empleo de la herramienta Dimsub, se determinaron los diámetros óptimos para las tuberías terciarias, estableciendo un diámetro de 32 mm. Se ha planificado la instalación de 12 laterales de riego, cada una con un diámetro de 15.5 mm y dotadas de goteros integrales preinstalados (Ilustración 3.4). En cuanto a la disposición de los emisores, se ha optado por

ubicarlos a intervalos de 30 centímetros, asegurando una correspondencia precisa con la posición de las plantas. Las laterales de riego se distribuirán con un espaciado de 1 metro entre cada una. La tubería principal, que discurre por el centro del invernadero, se encontrará a una distancia de 1.5 metros respecto a los módulos de riego. También se registró las medidas del reservorio el cual tendrá 15 x 17 metros y 2 metros de profundidad (Ilustración 3.5).

Ilustración 3.3: Esquema de subunidades con su respectiva alimentación



En la ilustración Ilustración 3.3 se presenta la simulación del software Dimsub de las laterales de riego con la distancia de 1m entre estas, considerando una válvula central en la tubería terciaria y goteros establecidos a una distancia de 0.3 m.

Ilustración 3.4: Diseño de tubería terciaria en software Dimsub

Diseño y dimensionado de subunidades de Riego Localizado

Datos Lateral

Subunidad: 1 Sector: 1 Cota Inicio: []

Alimentación lateral: alimentado por el extremo / alimentado por el medio

Tipo Emisor: No compensante / Auto compensante

Denominación: []

Caudal emisor	1.6
Longitud equivalente	0.23 m
Distancia inicial So	0.4 m
Separación emisores S	0.3 m
Longitud lateral	19 m
Diámetro Interior Lateral	15.5 mm
Pendiente lateral	0 %
Coefficiente de variación CV	7 %
Temperatura de cálculo	20 °C
Número Emisores planta	1

Resultados Lateral

Caudal inicio Lateral	100.8 l/h
Coefficiente F	0.375 l
Pérdida de carga Lateral	0.04 mca
Variación Presión Lat	0.04 mca
Coefficiente Beta	0.743
Coefficiente Alfa	0.51
Presión inicio	10.03 mca
Presión final	9.99 mca
Presión mínima	9.99 mca
Uniformidad Emisión	91.1 %

Datos Terciaria

Material terciaria: PVC UNE EN 1451 / PE 40 UNE EN 12201 / PE 100 UNE EN 1220

Alimentación terciaria: Alimentada por el extremo / Alimentada por el medio

Geometría Subunidad: Rectangular / Irregular

Disposición Laterales: Un lateral por fila de plantas / Doble lateral fila de plantas

Tipo terciaria: Característica única / Tubería telescópica

Datos Terciaria: Coef. Mayorante, Km: 0.397; Nº laterales 1/2 terciaria: 6; Distancia inicial (Lo): 0.3 m; Separación laterales (L): 1 m; Pendiente terciaria: 0 %

Resultados Terciaria: Diámetro interior: 27.2 mm; Diámetro Nominal: 32 mm; Coeficiente Beta r: 0.717; Pérdida carga terciaria: 0 m; Presión inicio ter.: 10 m; Presión final terciaria: 10 m; Variación presión Terciaria: 0 m

Emisor no compensante

Variación máx caudales	10 %
Presión nominal emisor	10 m
Exponente de descarga (X)	0.46
Coste emisor y lateral	0 €/m

Variables Dimensionado Lateral

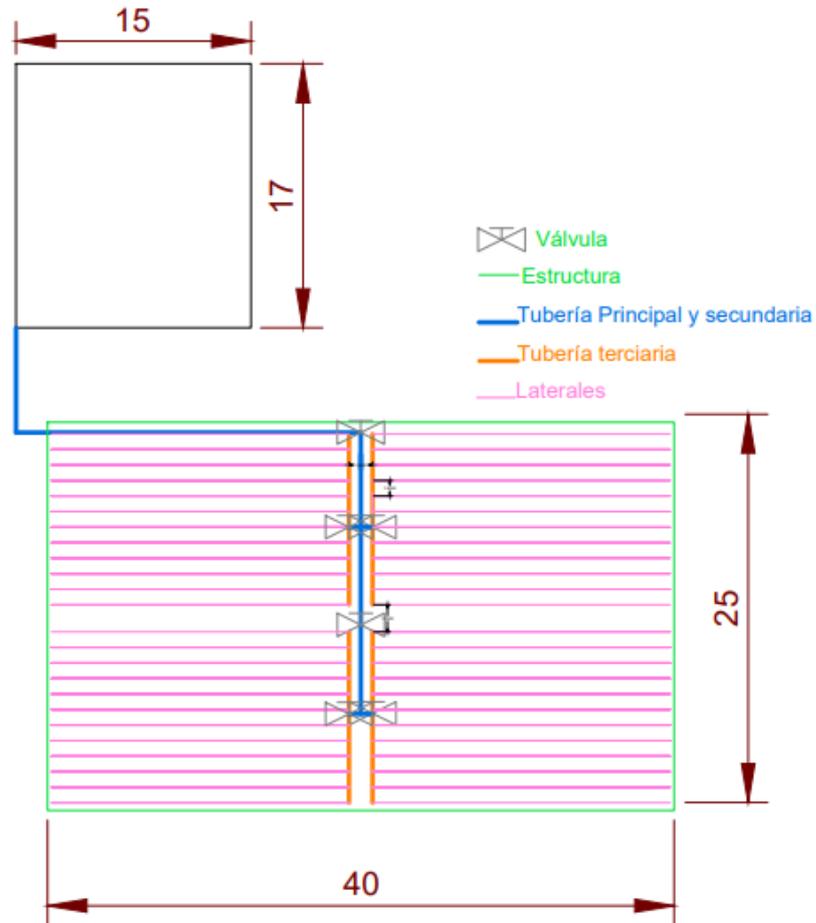
Variación Presión Subunidad	2.17 m
Nº emisores lateral	63
Desnivel lateral	0 m
Pérdida de carga admisible	2.17 m
Coefficiente mayorante	1.76
Coefficiente C Blasius	0.466
Coefficiente M Blasius	1.034E-06

Variables dimensionado Terciaria

Máxima Variación Presión	2.13 mca
Caudal por derivación	100.8 l/h
longitud 1/2 terciaria	5.3 m
Coefficiente Christiansen	0.378
Desnivel Terciaria	0 m
Pérdida de carga admisible	2.13 m
Caudal terciaria	604.8 l/h
Caudal inicio terciaria	1209.6 l/h
Diámetro mínimo Terciaria	7.3 mm

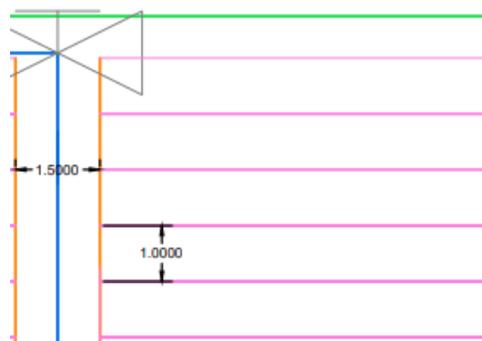
En la ilustración 3.4 se detalla en Dimsub la máxima variación de presión de las tuberías terciarias 2.13 mca, diámetro nominal de la tubería de 32mm. Considerando alimentaciones desde el medio y un tipo de emisor no compensado. Las pérdidas de carga de la lateral son de 0.04 mca.

Ilustración 3.5: Diseño del reservorio y de la tubería



La ilustración Tabla 3.5 presenta el diseño hidráulico del sistema de riego del invernadero. En la esquina superior izquierda se encuentran las dimensiones del reservorio. La tubería principal de color celeste tiene un largo de 50m. Las tuberías terciarias tienen un largo de 11m, cada uno de los 4 módulos tiene una tubería terciaria de grosor 32mm. Las mangueras con goteros están distanciadas a 1m entre ellas, y tienen un largo de 19m.

Ilustración 3.6: Disposición y distanciamiento entre tuberías



En la ilustración Ilustración 3.6: Disposición y distanciamiento entre tuberías se aprecian el símbolo de válvula y los distanciamientos entre las tuberías terciarias. En el diseño hay 6 válvulas, se encuentran localizadas al inicio del sistema, en la mitad y una válvula respectiva en cada módulo. La posición de las válvulas permite el control absoluto del sistema de riego y su cierre manual inmediato en caso de cualquier incidente.

La producción de tomate y pimiento se consideró de forma simultánea, favoreciendo la sincronización de labores culturales como poda, tutores, fertilizaciones y control fitosanitario. Se considera que en febrero y agosto no habrá producción debido a que serán los meses en los que se retirarán las plantas de hortalizas y se iniciará el siguiente ciclo productivo. Idealmente, se deben realizar dos ciclos productivos de tomate y pimiento anualmente.

3.2 Guía de Riego Eficiente

Los resultados de la redacción de la Guía de Riego localizado eficiente se centran en diversos aspectos para el manejo óptimo de los sistemas de riego por goteo en Galápagos, donde la escasez de recursos hídricos constituye una preocupación constante. La guía enfatiza sólidamente las bases fundamentales de los sistemas de riego, destacando la importancia de una infraestructura adecuada y el mantenimiento riguroso de los componentes del sistema de riego (Ilustración 3.7). Se mencionan medidas preventivas y correctivas para evitar obstrucciones que puedan comprometer la eficiencia del riego.

Ilustración 3.7: Inicio de guía de riego tecnificado



1. Partes de un sistema de riego

EMBALSE DE REGULACIÓN

El embalse de regulación cumple la función de regular el suministro de agua a la explotación agrícola, almacenando suficiente agua para satisfacer las necesidades del sistema de riego por goteo. En estos embalses, es crucial prestar atención al diseño adecuado de las entradas y salidas de agua, así como garantizar una adecuada aireación para facilitar la precipitación de compuestos de hierro y arena.

Los embalses de regulación de mayor envergadura suelen construirse para atender extensas áreas de cultivo y están bajo la gestión de las Confederaciones Hidrográficas. Se abastecen con agua proveniente de ríos, trasvases o pozos para asegurar un suministro constante.

CABEZAL DE RIEGO

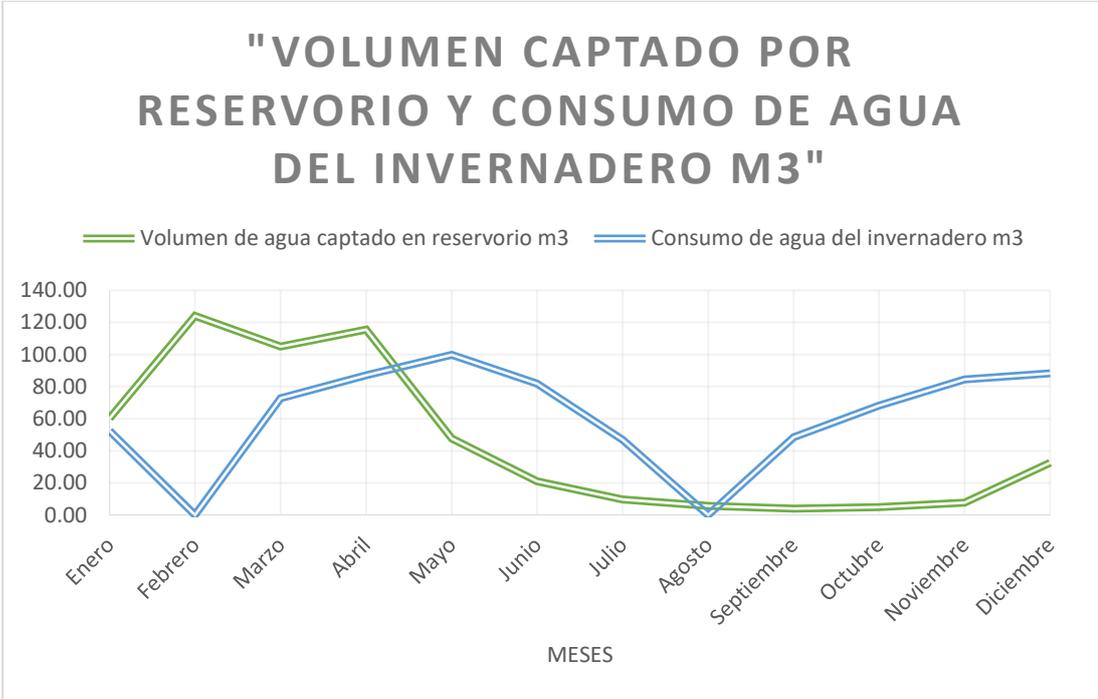
El cabezal de riego cumple una función crucial al controlar todo el sistema. Ubicado al principio de la

Además, se resaltó la necesidad de establecer protocolos específicos para mantener una uniformidad de riego, garantizando la distribución equitativa del agua en el área cultivada. La guía informa de manera integral sobre el manejo eficiente del recurso hídrico, proporcionando pautas prácticas y adaptadas a las condiciones específicas de las Galápagos, contribuyendo así a mitigar los desafíos asociados a la escasez de agua en la región.

La importancia de un reservorio o embalse que sea capaz de captar un volumen significativo de agua radica en el abastecimiento que otorga a la producción. En la ilustración 14 se muestra el volumen mensualmente captado por un reservorio de dimensiones 17mx15mx2m, de forma que la captación de agua se maximiza en los meses de mayor precipitación correspondientes al período entre enero y mayo. Dos superficies captan agua, el reservorio y el techo del invernadero, el cual a través de las canaletas permite el flujo hacia este. En la guía se hace énfasis en la filtración de residuos a para mantener en el mejor estado posible el reservorio. Esta infraestructura permite el suministro constante de agua todo el año que permite el máximo

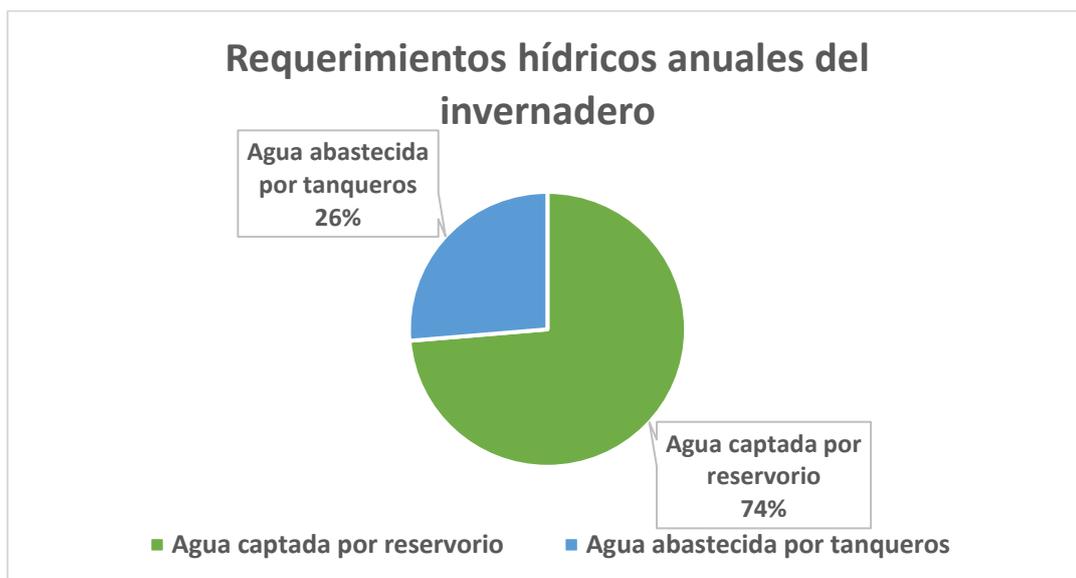
aprovechamiento de los parámetros climáticos de Cascajo a través de un sistema de riego por goteo.

Ilustración 3.8: Diferencia de volumen captado por el reservorio y el consumo de agua del invernadero



El invernadero requiere cierto volumen de agua para una producción óptima de hortalizas, las necesidades hídricas del cultivo en la ilustración Ilustración 3.8 muestran como la franja de consumo de agua está en el valor de 0 en febrero y agosto, los meses corresponden a la siembra, por lo que no se requiere agua. El volumen de agua captado por el reservorio considera tanto el área de captación del invernadero, con un coeficiente de escorrentía de 0.7 y la superficie del reservorio como tal, maximizando la captación del recurso.

Ilustración 3.9: Requerimientos hídricos anuales del invernadero y captación del recurso hídrico del reservorio



La ilustración Ilustración 3.9 detalla el porcentaje de agua usada por el invernadero de forma anual. De los 730.1 m³ totales, el 74% es suministrado por las precipitaciones captadas por el invernadero y el 26 % corresponde a tanqueros de agua para satisfacer la necesidad hídrica. Considerando los valores de dinámicas productivas, un agricultor ahorra USD 1960 anualmente en el suministro de agua de tanquero, si tiene un precio estable de USD 40 por tanqueo de 11 m³, se debe considerar que estos valores pueden fluctuar hasta USD 70 dependiendo de la demanda y disponibilidad del recurso.

Ilustración 3.10: Mantenimiento, medidas preventivas y correctivas de obstrucciones de los sistemas de riego localizado

Evitar Problemas de Taponamiento en Goteadores en Sistemas de Riego

Los taponamientos en los goteadores pueden causar problemas en los sistemas de riego, afectando la distribución uniforme del agua y, en última instancia, el crecimiento de los cultivos. Aquí te presentamos medidas preventivas y correctivas fáciles de entender para evitar este inconveniente:

Medidas Preventivas	Medidas Correctivas
Inspección Regular: Antes de Iniciar la Temporada de Riego: Revisa los goteadores para detectar posibles daños o desgastes. Asegúrate de que visualmente los goteadores funcionen correctamente.	Inspección Continua: Durante la temporada de riego, verifica visualmente si hay goteadores dañados o con obstrucciones.
Filtración Efectiva: Usa filtros de malla o anillas para evitar que partículas obstruyan los goteadores. Limpia o reemplaza los filtros regularmente.	Limpieza Manual: En caso de obstrucción visible, limpia manualmente los goteadores retirando cualquier partícula o sedimento.
Mantenimiento del Sistema: Realiza una limpieza de las tuberías antes de la temporada de riego. Evita el uso de aguas con alta carga de sedimentos.	Tratamiento Químico: Si hay obstrucciones persistentes, considera el uso de productos químicos como ácido o cloro para disolver acumulaciones.

En la Ilustración 3.10 se presentan medidas preventivas y correctivas para operar correctamente inconvenientes de obstrucciones en el sistema de riego. Evitar cualquier tipo de problema en el sistema integral de riego favorece el ahorro de agua y de recursos económicos para el agricultor. El mantenimiento apropiado del reservorio y sistema de goteo permitirá el ahorro de aproximadamente 537.8 m³ de agua obtenida por captación de lluvia.

3.3 Evaluación rentabilidad

El diseño agronómico e hidráulico es la base para la estimación de costos de producción. En la tabla 3 se presenta la densidad de siembra del tomate Pietro, cuyo rendimiento se estima es de 5 kg por planta y producirá 6966.67 kg en 500m².

Tabla 3.54: Información productiva por ciclo de tomate

Información productiva por ciclo de producción		
Producción tomates		unidades
Distanciamiento entre tomates	0.3	m
Longitud de Laterales de riego	19	m
Cantidad Laterales de riego	22	Laterales
Plantas de tomate	1393	unidades
Producción Kg por planta x ciclo	5.00	Kg
Producción de tomate	6966.67	Kg
Produccion en lb de tomate	14072.67	Lb

En la Tabla 3.5 se presentan los 3 umbrales de precio considerados para el tomate. Estos distintos valores varían de acuerdo con la demanda de mercado en Santa Cruz, el comprador del producto y calidad de este.

Tabla 3.65: Varios precios de venta del tomate por libra

Precio de venta tomate	
Precio de venta	USD/lb
Precio Alta demanda	0.7
Precio regular	0.6
Precio baja demanda	0.5

En la Tabla 3.6 se muestran los diversos precios por libra del tomate. Estos varían dependiendo del tipo de cliente al que se le vende, ya sea a consumidores finales como restaurantes, hoteles o barcos, o si se comercializa en el mercado mayorista de Santa Cruz. Los precios exhiben diferencias según el canal de ventas, presentando los valores más altos en las transacciones directas a establecimientos gastronómicos, hoteleros y navieros, mientras que disminuyen en el mercado al mayorista o en el peor de los casos, producto de inferior calidad o demanda.

Tabla 3.76: Tres escenarios diferentes de ventas del tomate en de productores de Cascajo.

Escenarios económicos tomate	Descripción	Ingresos (USD)
Escenario favorable	Escenario favorable: Venta del 80% de la producción, 6% a precio de alta demanda, 74% precio de venta regular	\$ 13,678.63
Escenario neutral	Venta 80% de la producción, 75% a precio regular, 5% precio de venta bajo	\$ 13,369.03
Escenario desfavorable	Venta 80% de la producción, 60% precio de venta regular, 20% precio de venta bajo	\$ 12,946.85

La Tabla 3.7 se basa en la estimación de 20% de los tomates no se venderán debido a las exigencias de presentación, calidad, falta de demanda de producción local o pérdidas por factores fitosanitarios como la mosca blanca (*Bemisia tabaci*).

El escenario favorable de la Tabla 3.7 considera la venta de 6% de la producción a clientes como navíos, cruceros u hoteles de lujo, obtener esta cartera de clientes y producto de alta calidad son oportunidades que dependen de diversos factores fuera del control del productor, por lo que este escenario es particularmente optimista. El escenario neutral considera que la mayoría de la producción se venderá a precio regular, este resultado se puede asegurar realizando acuerdos con clientes del sector, como restaurantes u hoteles de tal forma que, basándose en el cronograma de plantación, se estimen las gavetas a venderse semanalmente a un precio de regular. El escenario desfavorable es una representación de un 20% del producto que se vende a menor precio sea por planificación inapropiada o un mercado saturado del producto.

Tabla 3.8: Información productiva por ciclo de pimiento 7

Información productiva por ciclo de producción de Pimiento		
Producción pimiento		unidades
Distanciamiento entre pimientos	0.3	m
Longitud de Laterales de riego	19	m
Cantidad Laterales de riego	22	
Plantas de pimiento	1393	unidades
Producción Kg por planta x ciclo	3.30	Kg
Producción de pimiento	4598.00	Kg
Produccion en lb de pimiento	10138.59	Lb

En la Tabla 3.8 se exhibe la producción estimada de pimiento, destacando un rendimiento aproximado de 3,30 kg por planta de pimientos disponibles para la comercialización. Considerando la cantidad total de 1.393 plantas según el plan de siembra, se obtiene una producción proyectada de 4.598 kg. Este volumen cosechado por ciclo permite realizar una proyección de los ingresos potenciales del cultivo de pimiento, mediante su multiplicación por los precios esperados de venta por libra.

Tabla 3.9: Varios precios de venta del tomate por libra 8

Precio de venta Pimiento	
Precio de venta	USD/lb
Precio Alta demanda	1.0
Precio regular	0.71
Precio baja demanda	0.65

Para estimar las utilidades potenciales se emplean los precios que se observan en la Tabla 3.9 de comercialización del pimiento, los cuales exhiben variabilidad de acuerdo con la demanda. El precio máximo alcanza 1 dólar por libra en períodos de alta demanda. En condiciones normales de mercado, se comercializa a 0,71 dólares la libra. Mientras que, en temporadas de baja demanda o producto de menor calidad, el precio disminuye a 0,65 dólares por libra.

Tabla 3.10: Tres escenarios diferentes de ventas del tomate en de productores de Cascajo 9

Escenarios económicos pimiento	Descripción	Ingresos (USD)
Escenario favorable	Escenario Favorable A: Venta del 85% de la producción, 5% precio de alta demanda, 80% precio de venta regular	\$12,531.30
Escenario neutral	Escenario intermedio B: Venta del 80% de la producción , 5% precio de alta demanda, 75% precio de venta regular	\$11,811.46
Escenario desfavorable	Escenario desfavorable c: Venta 80%, 5% precio de venta bajo, 75% precio de venta regular	\$11,456.61

Con base en la proyección de precios que abarcan los tres escenarios posibles para la producción, se anticipa en la Tabla 3.10: Tres escenarios diferentes de ventas del tomate en de productores de Cascajo que, en el caso favorable, se concreta el 85% de las ventas, los ingresos ascenderían a USD 12,531.30 anualmente, considerando que el pimiento se ve menos afectado por la mosca blanca y se encuentra en constante demanda. Por otro lado, en el escenario neutro se asume mayor pérdida por la plaga mosca blanca, asegurando 75% de la producción por ciclo (7603 Lb) al precio de regular de USD 0.71, es esencial en este escenario que se coordine la venta del producto final a un precio fijo, de tal forma que se eviten pérdidas por una inapropiada logística, preferiblemente a consumidores finales como se ha mencionado anteriormente.

Tabla 3.11: Costos operativos del invernadero 10

Costos Directos						
Rubro	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Subtotal establecimiento	\$ 41,184.57	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Subtotal mantenimiento, mano de obra, insumos	\$ -	\$ 5,652.80	\$ 5,321.80	\$ 5,321.80	\$ 5,321.80	\$ 5,321.80
Subtotal cosecha, mano de obra, herramientas	\$ -	\$ 4,141.26	\$ 4,131.33	\$ 4,131.33	\$ 4,131.33	\$ 3,856.00
Imprevistos	\$ 3,294.77	\$ 783.53	\$ 756.25	\$ 945.31	\$ 945.31	\$ 945.31
COSTO TOTAL (USD)	\$ 44,479.34	\$ 10,577.59	\$ 10,209.38	\$10,398.45	\$10,398.45	\$ 10,123.11

Para la determinación de los índices financieros, se consideran los costos vinculados a la implementación del invernadero, mano de obra y mantenimiento anual en la Tabla 3.11. Dichos costos se evaluaron con una periodicidad anual y se incorporó un rubro de imprevistos equivalente

al 10% del subtotal de costos operativos de cada año. Se destaca que el costo estimado de establecimiento supera los 40.000 dólares, donde se considera infraestructura y sistema de riego, mientras que los costos anuales de producción se proyectan en más de 10.000 dólares.

Tabla 3.12: VAN, TIR, Beneficio/Costo de tres escenarios económicos proyectado a 5 años¹¹

Escenario	Tasa de interés	VAN	TIR	Beneficio/Costo	Ingresos (USD)	Costos (USD)	Flujo (USD)
Favorable	10.70%	\$ 14,560.05	23%	1.36	\$ 131,049.65	\$ 96,186.32	\$ 34,863.33
Intermedio		\$ 10,726.47	20%	1.31	\$ 125,902.45		\$ 29,716.14
Desfavorable		\$ 7,832.84	17%	1.27	\$ 122,017.30		\$ 25,830.98

Los escenarios financiero-favorable, intermedio y desfavorable revelan la solidez del proyecto. En el escenario más favorable, se destaca un VAN de USD \$14,560.05, TIR del 23%, y una relación Beneficio/Costo de 1.36, respaldados por ingresos sólidos de USD 131,049.65 en el transcurso de 5 años. En el escenario intermedio, con un VAN de USD \$10,726.47 y TIR del 20%, se mantiene la viabilidad financiera con ingresos de USD 125,902.45. Aunque en el escenario desfavorable el VAN es menor USD \$7,832.84, la TIR del 17% y una relación Beneficio/Costo de 1.27 indican resiliencia financiera, respaldados por ingresos de USD 122,017.30. Estos resultados sugieren la viabilidad de la implementación del invernadero, y resiliencia económica en diversos escenarios de ingresos variados en un lapso de 5 años. En la Tabla 3.12: VAN, TIR, Beneficio/Costo de tres escenarios económicos proyectado a 5 años considera una producción mixta de pimiento y tomate. Finalmente, el PRI calculado para el escenario intermedio es de 3 años.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Se resalta la importancia del diseño de cultivos hortícolas bajo invernadero, adaptado a las condiciones climáticas específicas y únicas del piso altitudinal del recinto del Cascajo. Las consideraciones estructurales de 5.50 m de altura, techo semi elíptico con 4 cenitales que permiten ventilación adecuada a lo largo de 25 metros de ancho y secciones laterales con sarán, se toman en consideración para un diseño óptimo de producción hortícola.

El diseño hidráulico y agronómico permite calcular un tiempo de riego diario de 1 hora y 13 minutos para los 4 módulos que segmentan la producción en los 1000 metros cuadrados del invernadero. Se requiere 1 metro cúbico por hora en las etapas fenológicas de desarrollo de los cultivos, resultando en un requerimiento de 730.10 metros cúbicos anuales, con dos ciclos productivos. Esto permite la producción de 9,196 kg de pimiento y 13,933 kg de tomate a un distanciamiento de 1m x 0.3m. La protección que ofrece la infraestructura y su captación de agua incrementará el potencial productivo del sector Cascajo.

La guía metodológica simplifica la transferencia de tecnología agrícola relacionada con el riego localizado. La durabilidad de los componentes es esencial para la sostenibilidad de la producción, ya que un buen uso y mantenimiento del sistema de riego maximiza la vida útil de las mangueras, goteros y bombas, resultando en ahorros económicos y una reducción significativa de desperdicios agrícolas. Además, se presenta un ahorro anual de 540.2 metros cúbicos (74% del requerimiento total) de agua mediante el sistema de captación de precipitaciones del invernadero diseñado y este refleja un ahorro de USD 1,960 en comparación con sistemas que carecen de la infraestructura de almacenamiento de agua. La compra de tanqueros también tiene un costo que fluctúa según la disponibilidad del recurso hídrico. Se considera que esta información favorecerá la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles.

Entre los 3 escenarios considerados, el Escenario Intermedio destaca como la mejor oportunidad para los productores de Cascajo, con un VAN de \$10,726.47 y una TIR del 20%, mostrando una rentabilidad excepcional a lo largo de los 5 años de inversión en el sistema. Además, logra un período de recuperación de la inversión (PRI) de 3 años. La productividad del sistema analizado muestra viabilidad financiera. No obstante, los desafíos significativos para los productores incluyen el manejo eficiente del recurso hídrico, el monitoreo diario de los cultivos para el control fitosanitario, y la necesidad de generar acuerdos, para asegurar un precio fijo e ingresos adecuados en la actividad productiva.

4.1.2 Recomendaciones

Se reconoce al recurso hídrico como una principal limitante para la producción bajo invernadero en el sector Cascajo. Se sugiere explorar variaciones en la productividad mediante diferentes escenarios, determinando así los requerimientos hídricos reales. Este contraste permitirá evaluar las diferencias con los cálculos teóricos de requerimientos hídricos proporcionados por el software CropWat y la realidad productiva de Cascajo.

Un análisis económico más detallado podría identificar las variaciones en los precios del mercado, facilitando una segmentación que promueva la accesibilidad de los productores a los consumidores finales. Además, sería posible realizar análisis de la demanda del mercado en Santa Cruz basándose en las proyecciones turísticas. Sin embargo, se deben considerar factores como posibles fallos en la logística de exportaciones continentales o cambios drásticos en las condiciones climáticas debido al cambio climático, ya que podrían impactar significativamente en el consumo, la demanda y, por ende, en los precios de la producción.

Se contempla la introducción del hidrogel como insumo, el cual debe ser previamente aprobado por la Agencia de Regulación y Control de la Bioseguridad y Cuarentena para Galápagos (ABG), este material puede tener un papel crucial en la retención de humedad en el suelo durante

periodos extendidos. Estos polímeros tienen el potencial de generar una capa de suelo con una concentración superior de nutrientes, al mismo tiempo que favorecen un uso más eficiente del recurso hídrico empleado en el proceso de producción.

Finalmente, se recomienda tener especial énfasis en la trazabilidad del sistema productivo, un seguimiento detallado de insumos utilizados anualmente, inversión en mano de obra, mantenimiento, requerimientos hídricos, producción e ingresos permitirá proyecciones más precisas, que serán el primer paso para cuantificar la eficiencia de las prácticas agrícolas del área de estudio.

Referencias

- Aldrich, & Bartok. (1994). *NRAES-33 Greenhouse Engineering*. Ithaca: Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service.
- Arviza, J. (24 de febrero de 2016). *Diseño y dimensionado de subunidades de riego localizado con emisores no compensantes utilizando la aplicación "DimSub"*. Obtenido de Media UPV: <https://media.upv.es/#/portal/video/ceceecc0-daed-11e5-88bf-e155129d9b84>
- Ayala, G. M. (2015). ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PRODUCCION Y ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS EN GALÁPAGOS. *FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES SEDE ECUADOR*.
- Ayars, J., Fulton, A., & B. Taylor. (2015). Subsurface drip irrigation in California—Here to stay? *Agricultural Water Management*, 39-47.
- Burt, C. M., Howes, D. J., & & Wilson, G. (2020). *California agricultural water use: key background information*. California Water Resources Center.
- Ceproec-Senplades. (2014). *Diagnóstico y análisis biofísico para evaluación y formulación de escenarios de desarrollo en el Archipiélago de Galápagos*. Quito: Ceproec-Senplades.
- CGREC-INEC-MAGAP. (2014). *Censo Agropecuario Galápagos*. CGREC-INEC-MAGAP.
- Decker, K. (1994). Characteristics of agriculture in the Galapagos Islands. *Agroforestry Systems*, 99-110.
- Escudero, L., Barrera, V., Valverde, M., & Allauca, J. (2019). *Productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria de las islas*. Quito: INIAP Estación Experimental Santa Catalina .
- Escuela de Administración de Negocios para Graduados. (24 de Enero de 2017). *El PRI: uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas*. Obtenido de Esan Conexión esan: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas>
- FAO. (2013). Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. En FAO, *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops*.
- FAO. (s.f.). *Ecuador en una mirada*. Obtenido de FAO en Ecuador: <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. *FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPER*.

- Geilfus, F. (2009). *80 herramientas para el desarrollo participativo*. San José: IICA.
- GMC. (2007). Directrices para el reconocimiento e identificación de la agricultura familiar en el Mercosur (en línea). Montevideo, Uruguay.
- Gobierno autónomo descentralizado municipal de Santa Cruz. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Cruz*. Santa Cruz.
- Gobierno de Galápagos. (18 de Marzo de 1998). *LEY ESPECIAL PARA LA PROVINCIA DE GALAPAGOS*. Obtenido de Gobierno de Galápagos: <https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/LOREG.pdf>
- Hernandez, J., Gonzalez, F., & Hernandez, J. (n.d.). Análisis de rentabilidad del cultivo de jitomate bajo invernadero en San Simón de Guerrero, Estado de México. *Paradigma Económico*, 167–197.
- Imbaquingo, J. E. (2019). “Análisis de la rentabilidad del cultivo de pimiento (*Capsicum annum*L.) bajo invernadero en el Sector Piquer, Cantón Mira, Provincia del Carchi. *PROGRAMA SEMIPRESENCIAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA SEDE EL ÁNGEL*.
- INEC. (2015). *principales resultados Censo de población y vivienda 2015*. INEC.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, C. R. (2016). Captación, Acumulación, Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias. *Boletín INIA 321*.
- Instituto Geográfico Militar. (2022). *SUELOS DEL ECUADOR Clasificación Uso y Manejo*. Quito: Instituto Geográfico Militar.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2016). *La agricultura familiar en las Américas: Principios y conceptos que guían la cooperación técnica del IICA*. San José: Imprenta IICA.
- Jagustović, R., Zougmoré, R. B., Kessler, A., Ritsema, C. J., Keesstra, S., & Reynolds, M. (2019). Contribution of systems thinking and complex adaptive system attributes to sustainable food production: Example from a climate-smart village. *Agricultural Systems*.
- Karanisa, T., Achour, Y., Ouammi, A., & Sayadi, S. (2022). Smart greenhouses as the path towards precision agriculture in the food-energy and water nexus: case study of Qatar. *Springer Link*.
- La Hora. (7 de Junio de 2023). Galápagos se está quedando sin alimentos, gas y otros productos básicos . *La Hora*.
- Lamm, F. R., & Rogers, D. H. (2017). LONGEVITY AND PERFORMANCE OF A SUBSURFACE DRIP IRRIGATION SYSTEM. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 931- 939.

- Loaiza, Y. (5 de abril de 2022). Buscan que las Galápagos puedan autoabastecerse para su alimentación. *Infobae*.
- López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, & Fernández, C. (2020). Greenhouse horticulture: Towards a sustainable agroecosystem. *Agronomy for Sustainable Development*.
- Ministerio de agricultura y ganadería. (2020). *Galápagos busca ser autosostenible en producción agrícola*. Obtenido de Ministerio de agricultura y ganadería : <https://www.agricultura.gob.ec/galapagos-busca-ser-autosostenible-en-produccion-agricola/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *Boletín Agrícola Integral Galápagos*. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Nathan, R., & Levy, Y. (2022). *Tabla de excel Cálculo del diseño agronómico ISRAEL*. Obtenido de Ingenium World: <http://world-ingenium.blogspot.com/2021/07/tabla-de-excel-calculo-del-diseno.html>
- Oxford, P., & Watkins, G. (2009). *Galapagos Both Sides of the Coin*. Charlesbridge Publishing.
- Parque Nacional Galápagos. (2005). *Plan de Manejo Parque Nacional Galápagos. Un pacto por la conservación y el desarrollo sustentable del archipiélago*. Parque Nacional Galápagos.
- Riquelme Leiva, M. (2016). FODA: Matriz o Análisis FODA Una herramienta esencial para el estudio de la empresa. *Universidad de Guadalajara*.
- Rodríguez-Sinobas, L., Juana, L., Losada, A., Castañón, G., Gil, J., . . . & Sánchez, R. (2012). Irrigation scheduling of subsurface drip irrigation systems using soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 42-52.
- Rucoba García, A., & otros, y. (2006). ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO INVERNADERO EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DE CHIHUAHUA. *REVISTA MEXICANA DE AGRONEGOCIOS*.
- SECRETARÍA TÉCNICA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE, Mendieta, E., López, L., Doin, M., Castañeda, J., Cabrera, J., & Astudillo, B. (2013). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Cantón Santa Cruz [PDF].
- UNESCO. (2009). *Reserva de la Biosfera Archipiélago de Colón - Galápagos (Ecuador)*. Obtenido de UNESCO: <https://es.unesco.org/biosphere/lac/galapagos#:~:text=La%20flora%20y%20fauna%20nativa,y%20Sitio%20Ramsar%20en%202001.>
- Universidad Nacional de La Plata . (n.d). *Objetivos de los invernaderos*. Obtenido de Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Villacorta, A. G. (02 de octubre de 2021). *VAN, TIR y Pay-back: ¿qué son y en qué se diferencian?*
Obtenido de esan conexion esan: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/van-tir-y-pay-back-que-son-y-en-que-se-diferencian>

Anexos

Anexo 1: Ecuaciones de diseño agronómico

a) Evapotranspiración de cultivo

El coeficiente de cultivo se utiliza para ajustar la evapotranspiración de referencia para obtener la evapotranspiración real de un cultivo específico. La fórmula general sería:

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

Donde:

ET_c: es la evapotranspiración del cultivo.

K_c: es el coeficiente de cultivo específico para el tipo de cultivo y el período de crecimiento.

ET₀: es la evapotranspiración de referencia.

b) Precipitación horaria del sistema de riego

La "Precipitación horaria del sistema de riego" (Phr) se determina mediante el cálculo basado en el caudal del emisor (qe) medido en litros por hora (lt/h) y el área efectiva bajo riego. En otras palabras, Phr representa la cantidad de agua que se precipita por hora en el sistema de riego y se obtiene considerando el flujo del emisor y la superficie de riego efectiva.

$$Phr = \frac{qe \times 100}{de \times dl \times Par}$$

Donde:

Phr = Precipitación horaria [mm/h] del sistema de riego.

qe = Caudal del emisor [lt/h].

de = Distancia entre emisores contiguos sobre el lateral [m].

dl = Distancia entre laterales contiguos, [m].

Par = Porcentaje del área bajo riego, [%]. Que en el caso de los goteros es del 65%.

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal

c) Intervalo de riego

El "Intervalo de riego" (Ir), medido en días, representa el lapso temporal entre dos riegos consecutivos en una posición específica. Este intervalo depende de varios factores, incluyendo la lámina de agua aprovechable (LAzr) en milímetros, el porcentaje del área bajo riego (Par), y el consumo diario del cultivo (ETc) en milímetros por día.

$$Ir = \frac{LAzr (mm) \times Par (\%)}{ETc \left(\frac{mm}{día}\right) \times 100}$$

Ir = Intervalo de riego [días].

LAzr = Lámina de agua aprovechable en la zona radicular efectiva [mm/ zr]

Par = Porcentaje del área bajo riego [%].

El factor 100 convierte el porcentaje de fracción decimal

d) Lámina de riego ajustada

La "Lámina de riego ajustada" (LR) se calcula teniendo en cuenta el "Intervalo de riego ajustado" (Ir) medido en días, el consumo diario del cultivo (ETc) en milímetros por día, y el porcentaje del área bajo riego (Par). De esta manera, se determina la cantidad de agua necesaria para el riego, ajustada a las condiciones específicas mencionadas.

$$LR = \frac{IR * ETc * 100}{Par}$$

Donde:

LR (aj) = Lámina de riego ajustada [mm]

Ir (aj) = Intervalo del riego ajustado [días]

Etc = Evapotranspiración del cultivo [mm/día]

Par = Porcentaje del área bajo riego [%]

El factor 100 convierte el porcentaje a fracción decimal

e) Horas de riego por turno

El término "Horas de riego por turno" (Ht) se refiere al tiempo necesario, medido en horas, para administrar la cantidad total de agua, representada como lámina bruta (LB) en milímetros. Este tiempo de riego está determinado por el emisor seleccionado y está directamente relacionado con la tasa de precipitación horaria (Phr) en milímetros por hora.

$$Ht (h/turno) = \frac{LB (mm)}{Phr (mm/h)}$$

Ht = Horas de riego por turno [horas/turno].

LB = Lámina bruta [mm].

Phr = Precipitación horaria del sistema de riego [mm/h]

f) Dosis de Riego Bruta

Cuando se considera que en ciertos sistemas de riego solo se moja una fracción específica del área del cultivo, la dosis bruta se aplicará únicamente sobre esta porción humedecida. En consecuencia, se multiplica la lámina bruta por el porcentaje del área efectivamente regada.

$$DB = \frac{LB * Par}{10}$$

DB = Dosis bruta, [m³/Ha bruta]

LB = Lámina bruta, [mm] = [lt/m²]

Par = Porcentaje del área bajo riego [%].

El factor 10 convierte la lámina a m³/Ha

g) Dosis de riego bruta por turno

La "Dosis de riego bruta por turno" (DBt) representa el volumen total de agua destinado para la aplicación durante un único turno de riego. Es la cantidad total de agua que se aplicará en un periodo específico de riego.

$$DBT \left(\frac{m^3}{turno} \right) = St \left(\frac{ha}{turno} \right) * DB \left(\frac{m^3}{ha} \right)$$

DBt= Dosis bruta por turno [m3/turno]

St=Superficie por turno de riego [Ha/turno]

DB=Dosis bruta [m3/Ha]

h) Caudal requerido

El "Caudal requerido" (Qr) se refiere al flujo necesario, medido en metros cúbicos por hora (m³/h), para llevar a cabo el riego de una parcela específica. En otras palabras, Qr representa la cantidad de agua por unidad de tiempo que se necesita para irrigar la superficie mencionada.

$$QR = \frac{DBT}{Ht}$$

Qr = Caudal requerido [m3 /hora]

DBt= Dosis bruta por turno [m3/turno]

Ht= Horas de riego por turno [horas/turno].

Anexo 2. Diseño agronómico Tomate

Riego de cultivos			
Cultivo:	tomate		
Sistema de riego:	Goteo		
	UNIDAD		VALOR
A (area bruta)	Ha		0.10
Sr (area neta bajo riego)	Ha		0.10
Tipo de suelo	textura		Franco
Cc (Capacidad de campo)	%		22
Pm (Punto de marchitez)	%		10
da (densidad aparente)	(gr/cm ³)		1.2
Inf (Infiltración básica)	mm/h		13
Pr (profundidad efectiva del suelo)	m		0.15
Etc (Evapotranspiración punta)	mm/d		3.68
Viento>3m/s	d(h)a(h)		
HR(humedad relativa)	%		89
Fuente de agua			Embalse
Caudal	(m ³ /h)		6.00
Calidad	mg/lit		
Kc (El coeficiente del cultivo)	coeficiente		1.15
Zr (Prof.ef.de raíces)	m		0.25
Pa (max.agua aprovechable)	%		20%
dh (Distancia e/hileras)	m		1.00

Ld _{zr} (Lamina disponible de la zona radicular)	mm/zr		36.00
Vd _{zr} (Volumen de agua disponible -zona radicular)	(m ³ /Ha/zr)		360.00
Laz _r (Lamina aprov. a la prof. radicular)	mm/zr	65.4%	7.20
Par (Porcentaje del area bajo riego)	%	0.20	65.4%
Phr (Precipitación horaria del sistema de riego)	mm/h	CIERTO	8
Ktan (Coeficiente del tanque clase "A")			0.30
ET _c (Uso consuntivo)	mm/dia		1.27
Ir (Intervalo de riego)	d		3.71
Ir _{aj} (Intervalo de riego aj.)	d		1.16
CR (Ciclo de riego)	d		1.00
LR(aj) (Lamina de riego ajustado)	mm		2.25
Pa (Porcentaje del agua aprovechada)	%		6.25%
LB (Lamina bruta)	mm		2.50
DB (Dosis de riego bruta)	(m ³ /Ha)		16.36
Ht (Horas de riego por turno)	h/turno		0.31
Td (Max. numero de turnos de riego diarios)	turno/dia		32.59
Td _{aj} (Max. numero de turnos de riego diarios ajustado)	turno/dia		4.00
Hd (Horas de riego por dia)	h/dia	CIERTO	1.23
Hc (Horas de turnos por ciclo)	h/ciclo		1.23
Tc (Numero de turnos por ciclo)	turnos/ciclo		4.00
St (Superficie bajo riego, por turno)	Ha/turno		0.02500
DBt (Dosis de riego bruta por turno)	(m ³ /turno)		0
Qr (Caudal requerido)	(m ³ /h)	CIERTO	1
E _{mt} (Numero de emisores por turno)	e/turno		833
VB _c (Volumen bruto por ciclo de riego)	(m ³ /ciclo)		2
Q _e (Caudal especifico)	(m ³ /Ha/h)		13.33
Q _e (Caudal especifico)	(l/s/Ha)		3.70

Anexo 3 Diseño agronómico pimiento

Laz _r (Lamina aprov. a la prof. radicular)	mm/zr	65.4%	7.20
Par (Porcentaje del area bajo riego)	%	0.20	65.4%
Phr (Precipitación horaria del sistema de riego)	mm/h	CIERTO	8
Ktan (Coeficiente del tanque clase "A")			0.30
ET _c (Uso consuntivo)	mm/dia		1.27
Ir (Intervalo de riego)	d		3.71
Ir _{aj} (Intervalo de riego aj.)	d		1.16
CR (Ciclo de riego)	d		1.00
LR(aj) (Lamina de riego ajustado)	mm		2.25
Pa (Porcentaje del agua aprovechada)	%		6.25%
LB (Lamina bruta)	mm		2.50
DB (Dosis de riego bruta)	(m ³ /Ha)		16.36
Ht (Horas de riego por turno)	h/turno		0.31
Td (Max. numero de turnos de riego diarios)	turno/dia		32.59
Td _{aj} (Max. numero de turnos de riego diarios ajustado)	turno/dia		4.00
Hd (Horas de riego por dia)	h/dia	CIERTO	1.23
Hc (Horas de turnos por ciclo)	h/ciclo		1.23
Tc (Numero de turnos por ciclo)	urnos/ciclo		4.00
St (Superficie bajo riego, por turno)	Ha/turno		0.03
DBt (Dosis de riego bruta por turno)	(m ³ /turno)		0
Qr (Caudal requerido)	(m ³ /h)	CIERTO	1
E _{mt} (Numero de emisores por turno)	e/turno		833
VB _c (Volumen bruto por ciclo de riego)	(m ³ /ciclo)		2
Q _e (Caudal especifico)	(m ³ /Ha/h)		13.33
Q _e (Caudal especifico)	(l/s/Ha)		3.70

Anexo 4: Cropwat pimiento de marzo a julio

CROPWAT - Session: C:\ProgramData\CROPWAT\data\sessions\sesionTESI\Stomate.SES

File Edit Calculations Charts Settings Window Language Help

New Open Save Close Print Chart Options

Country Ecuador Station nasa
 Latitude 300 m. Latitude 0.40 °S Longitude 90.16 °W

Station cero Eff. rain method None

Dry crop - C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\PEPPER.CRO

Crop Name Sweet Peppers Planting date 01/03 Harvest 13/07

Kc Values: 0.60, 1.05, 0.90

Stage (days): initial (30), development (35), mid-season (40), late season (30), total (135)

Rooting depth (m): 0.25, 0.40

Critical depletion (fraction): 0.20, 0.30, 0.30, 1.10

Yield response f.: 1.40, 0.60, 1.20, 0.60, 1.10

Cropheight (m): 0.70 (optional)

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	20.5	24.7	88	190	4.3	15.6	2.92
February	24.7	28.8	88	190	6.6	19.7	3.94
March	24.1	28.4	83	207	5.4	18.0	3.93
April	23.9	28.1	87	173	5.9	18.2	3.75
May	22.3	26.5	82	181	3.8	14.1	3.17
June	21.7	25.8	88	225	2.9	12.4	2.66
July	19.4	23.5	85	285	2.5	12.0	2.56
August	24.0	28.3	90	320	3.0	13.4	2.92
September	18.0	22.4	89	311	3.0	13.9	2.63
October	19.4	23.9	87	294	3.1	14.2	2.81
November	19.2	23.6	88	311	3.1	13.8	2.68
December	20.5	24.9	89	225	3.5	14.2	2.75
average	21.5	25.7	87	243	3.9	14.9	3.06

ETo file: datos nasa.pem | Rain file: 000.crm | Crop file: pepper.cro | Soil file: | Planting date: 01/03 | Crop pat file: | Schedule file: |

Anexo 5: Necesidad de irrigación pimiento marzo a julio cropwat

CROPWAT - Session: C:\ProgramData\CROPWAT\data\sessions\sesionTESI\Stomate.SES

File Edit Calculations Charts Settings Window Language Help

New Open Save Close Print Chart Options

Country Ecuador Station nasa
 Latitude 300 m. Latitude 0.40 °S Longitude 90.16 °W

Station cero Eff. rain method None

Crop Water Requirements

Crop Sweet Peppers Planting date 01/03

Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
			coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Init	0.60	2.36	23.6	0.0	23.6
Mar	2	Init	0.60	2.36	23.6	0.0	23.6
Mar	3	Deve	0.60	2.33	25.6	0.0	25.6
Apr	1	Deve	0.67	2.55	25.5	0.0	25.5
Apr	2	Deve	0.78	2.91	29.1	0.0	29.1
Apr	3	Deve	0.88	3.13	31.3	0.0	31.3
May	1	Mid	0.97	3.24	32.4	0.0	32.4
May	2	Mid	0.97	3.08	30.8	0.0	30.8
May	3	Mid	0.97	2.91	32.0	0.0	32.0
Jun	1	Mid	0.97	2.75	27.5	0.0	27.5
Jun	2	Late	0.96	2.55	25.5	0.0	25.5
Jun	3	Late	0.92	2.40	24.0	0.0	24.0
Jul	1	Late	0.87	2.26	22.6	0.0	22.6
Jul	2	Late	0.84	2.15	6.5	0.0	6.5
					359.9	0.0	359.9

ETo file: datos nasa.pem | Rain file: 000.crm | Crop file: pepper.cro | Soil file: | Planting date: 01/03 | Crop pat file: | Schedule file: |

Anexo 8: Costos de implementación componentes estructurales e hidráulicos del invernadero.

Rubro	Cantidad	Costo Unitario	Por Hectárea	Costo Total (USD \$)	AÑOS
					0
ESTABLECIMIENTO					
a) Mano de obra					
c. Materiales construcción invernadero					
Costo estructura invernadero	1.00	37,000.00	\$ 37,000.00	\$ 37,000.00	\$ 37,000.00
Construcción reservorio	1.00	3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
Tubería principal y secundaria	9.00	14.52	\$ 130.68	\$ 130.68	\$ 130.68
Tubería terciaria	8.00	7.42	\$ 59.36	\$ 59.36	\$ 59.36
Mangueras laterales	1.00	496.32	\$ 496.32	\$ 496.32	\$ 496.32
Válvulas	6.00	4.18	\$ 25.08	\$ 25.08	\$ 25.08
uniones terciaria	10.00	0.17	\$ 1.70	\$ 1.70	\$ 1.70
tapones	50.00	0.25	\$ 12.50	\$ 12.50	\$ 12.50
valvulas de aire	3.00	4.60	\$ 13.80	\$ 13.80	\$ 13.80
Valvula laterales	48.00	0.78	\$ 37.44	\$ 37.44	\$ 37.44
bomba de agua 1.2 HP	1.00	300.00	\$ 300.00	\$ 300.00	\$ 300.00
Accesorios (10%)		107.69	\$ 107.69	\$ 107.69	\$ 107.69
SUBTOTAL ESTABLECIMIENTO				\$ 41,184.57	\$ 41,184.57

Anexo 9: Mantenimiento anual del invernadero

MANTENIMIENTO					Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
a. Mano de obra									
Preparación semillero	2.00	29.00	\$ 58.00	\$ 58.00	\$ 58.00	\$ 58.00	\$ 58.00	\$ 58.00	\$ 58.00
Mantenimiento semillero	4.00	29.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00
Transplante plantulas	18.00	29.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00
Aplicación fertilizante	4.00	29.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00	\$ 116.00
Control de plagas	24.00	29.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00
Control de enfermedades	24.00	29.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00	\$ 696.00
Tutorado	18.00	29.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00
Lavado de techo	2.00	200.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00	\$ 400.00
Poda	18.00	29.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00	\$ 522.00
b. Insumos									
Fungicida (Bravo)	4.00	17.70	\$ 70.80	\$ -	\$ 70.80	\$ 70.80	\$ 70.80	\$ 70.80	\$ 70.80
Insecticida (Cyberpac)	2.00	13.00	\$ 26.00		\$ 26.00	\$ 26.00	\$ 26.00	\$ 26.00	\$ 26.00
Extracto de neem	2.00	20.00	\$ 40.00		\$ 40.00	\$ 40.00	\$ 40.00	\$ 40.00	\$ 40.00
Tanquero	18.00	40.00	\$ 720.00		\$ 720.00	\$ 720.00	\$ 720.00	\$ 720.00	\$ 720.00
Fertilizante (Yaramila)	1.00	61.00	\$ 61.00		\$ 61.00	\$ 61.00	\$ 61.00	\$ 61.00	\$ 61.00
Urea	2.00	40.00	\$ 80.00		\$ 80.00	\$ 80.00	\$ 80.00	\$ 80.00	\$ 80.00
Semillas tomate (Pietro)	2.00	123.00	\$ 246.00		\$ 246.00	\$ 246.00	\$ 246.00	\$ 246.00	\$ 246.00
Semillas Pimiento (Nathalie)	2.00	215.00	\$ 430.00		\$ 430.00	\$ 430.00	\$ 430.00	\$ 430.00	\$ 430.00
c. Materiales y herramientas									
Bombas de fumigación			\$ -	\$ -	\$ 331.00		\$ -		
SUBTOTAL MANTENIMIENTO			\$ 2,836.00	\$ -	\$ 5,652.80	\$ 5,321.80	\$ 5,321.80	\$ 5,321.80	\$ 5,321.80

Anexo 10: Costos de cosecha, imprevistos y costo total anual

Cosecha						Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
a. Mano de obra										
Cosecha	64.00	29.00	\$ 1,856.00	\$ 1,856.00		\$ 1,856.00	\$ 1,856.00	\$ 1,856.00	\$ 1,856.00	\$ 1,856.00
Transporte	100.00	20.00		\$ 2,000.00		\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Materiales y herramientas, Hilos tensor						\$ 285.26	\$ 275.33	\$ 275.33	\$ 275.33	\$ 275.33
SUBTOTAL				\$ 3,856.00	\$ -	\$ 4,141.26	\$ 4,131.33	\$ 4,131.33	\$ 4,131.33	\$ 3,856.00
Operaciones										
Imprevistos	0.10					\$ 3,294.77	\$ 783.53	\$ 756.25	\$ 945.31	\$ 945.31
Sub total costos directos			\$ -	\$ 47,876.57	\$ 41,184.57	\$ 9,794.06	\$ 9,453.13	\$ 9,453.13	\$ 9,453.13	\$ 9,177.80
COSTO TOTAL			\$ 48,362.37	\$ 47,876.57	\$ 44,479.34	\$ 10,577.59	\$ 10,209.38	\$ 10,398.45	\$ 10,398.45	\$ 10,123.11

Anexo 11: Guía de riego localizado

INFORMACIÓN PARA LA GUÍA DE RIEGO TECNIFICADO

1. Partes de un sistema de riego

EMBALSE DE REGULACIÓN

El embalse de regulación cumple la función de regular el suministro de agua a la explotación agrícola, almacenando suficiente agua para satisfacer las necesidades del sistema de riego por goteo. En estos embalses, es crucial prestar atención al diseño adecuado de las entradas y salidas de agua, así como garantizar una adecuada aireación para facilitar la precipitación de compuestos de hierro y arena.

CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de riego cumple una función crucial al controlar todo el sistema. Ubicado al principio de la instalación, engloba todos los equipos y materiales necesarios para supervisar el riego. Esto incluye medir la cantidad de agua proveniente del embalse (a través de un contador), filtrarla, regular la presión, dosificar fertilizantes y programar el riego.

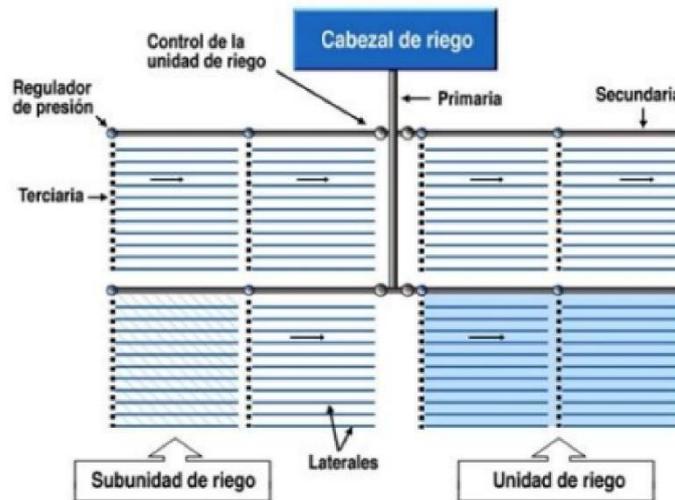
BOMBA DE RIEGO

La bomba de riego desempeña un papel esencial al proporcionar la presión y caudal necesarios para que el agua, con los nutrientes y la programación previstos, llegue a los emisores en toda la explotación. Existen diferentes tipos de bombas, y la elección dependerá de varios factores.

SISTEMAS DE FILTRADO

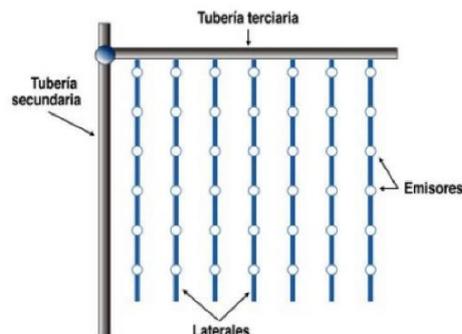
El agua que llega al embalse suele contener impurezas que deben tratarse antes de ingresar al sistema de riego por goteo para evitar problemas como la obstrucción de los emisores. Para abordar esto, se utilizan diversos sistemas de filtrado y tratamiento del agua. Los contaminantes pueden ser orgánicos, como algas, peces, moluscos, insectos, semillas, materias vegetales, gusanos, crustáceos, o inorgánicos, principalmente limos, arcillas y arenas, con tamaños variables (Liotta, 2015).

RED DE RIEGO



La red de riego se compone de un sistema de tuberías que transporta agua filtrada, enriquecida con nutrientes y fertilizantes, desde el cabezal de riego hasta los emisores encargados de suministrar agua a cada planta en las subunidades de riego.

Cada subunidad de riego está equipada con una arqueta que contiene un regulador de presión, una llave de cierre y, opcionalmente, un contador de agua. Desde esta arqueta, se desprende la tubería terciaria o lateral . (Gurovich, 1985)



LATERALES Y EMISORES

Cuando nos referimos a "laterales", hablamos de las tuberías que llevan el agua a las plantas. Es importante especificar los tamaños de estas tuberías y su ubicación con respecto a las plantas.

También es necesario indicar cómo están dispuestos los "emisores" a lo largo de cada lateral. Además, es crucial anotar si hay alguna fuga en las conexiones o roturas en el sistema. Estos detalles son esenciales para asegurar un riego efectivo y eficiente.

La revisión de los emisores implica recopilar información sobre su tipo (según la forma en que están conectados, si tienen algún mecanismo de compensación, etc.) y su caudal nominal. Además, se deben considerar datos como el diámetro mínimo de paso de agua y cualquier tratamiento aplicado para prevenir obstrucciones.

Es esencial también observar si hay obstrucciones, fugas o roturas en los emisores durante la evaluación. Estos detalles son fundamentales para asegurar que los emisores funcionen correctamente y para tomar medidas preventivas cuando sea necesario (San Juan, 1985).

MATERIALES

La red principal y secundaria de tuberías generalmente se fabrica con conductos de PVC (policloruro de vinilo), que permite diámetros mayores a un costo menor. Estas se colocan en zanjas enterradas a cierta profundidad para prevenir daños y permitir las actividades agrícolas en la superficie.

Las tuberías terciarias pueden ser de PVC o PE (polietileno), este último proporciona más flexibilidad. Mientras tanto, los ramales son siempre de PE.

TIPOS DE GOTEROS

Los goteros o emisores, componentes delicados de la red de riego, controlan la liberación uniforme de agua en todo el cultivo. Dada la variación de presión en las zonas de instalaciones de riego localizado, la elección del tipo de gotero es crucial para obtener una cosecha uniforme. Algunos tipos de goteros incluyen:

- 1. Goteros auto compensantes:** Mantienen un caudal fijo dentro de un rango.
- 2. Goteros anti drenantes:** Se cierran automáticamente al reducirse la presión en el sistema de riego.
- 3. Goteros regulables:** Permiten la regulación remota del caudal.

Además, durante la instalación de la red de riego, se utilizan accesorios y piezas especiales fabricadas generalmente en PE y PVC para unir tramos de tubería.

La evaluación de la uniformidad del caudal de los emisores se realiza mediante dos indicadores: la Uniformidad de Distribución de Caudales (UD)

Para calcular la UD, se escogen específicamente 16 emisores distribuidos de manera uniforme dentro de la subunidad de riego. La recomendación es seleccionar estos emisores de los laterales más cercanos y lejanos a la toma de la tubería terciaria, así como los dos laterales intermedios (ubicados a un tercio y dos tercios). En cada lateral, se eligen cuatro emisores siguiendo el mismo criterio, es decir, el emisor más cercano y lejano a la toma del lateral, junto con los dos emisores intermedios. Este conjunto de emisores seleccionados en diferentes puntos garantiza una evaluación representativa de la uniformidad del sistema en toda la subunidad de riego.

Para medir el volumen de agua suministrado por los emisores seleccionados en un tiempo específico, se utilizará una probeta o vaso graduado con unidades de 2 cm^3 . Este procedimiento

garantiza una medición precisa. El tiempo establecido para la medición será uniforme para todos los emisores y se fijará en 3 minutos en el caso de los goteros. Durante este período, se registrará la cantidad de agua que cada emisor suministra, utilizando la probeta o vaso graduado, lo que proporcionará datos concretos sobre el caudal de cada emisor en el tiempo establecido.

Después de determinar el caudal en cada uno de los emisores seleccionados, el cálculo de la Uniformidad de Distribución (UD) sigue estos pasos:

1. Primero, se calcula la media de los caudales de los emisores que representan el cuarto más bajo del caudal (q25%).
2. Segundo, se calcula la media de todos los caudales medidos en los emisores (qm.).
3. Con los valores conocidos de q25% y qm., se procede a calcular la UD utilizando la siguiente fórmula:

$$UD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m}$$

Este cálculo proporciona un indicador de qué tan uniformemente se distribuye el caudal entre los emisores seleccionados. Cuanto más cercano a 100 sea el resultado, mayor será la uniformidad en la distribución del agua entre los emisores (INTAGRI, 2015).

VALOR DE LA UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN	CALIFICACIÓN
Mayor de 95 %	EXCELENTE
De 85 a 95 %	BUENA
De 80 a 85 %	ACEPTABLE
De 70 a 80 %	POBRE
Menor de 70 %	INACEPTABLE

Medición de la Evaporación Utilizando una Tina y Envases No Convencionales.

Para llevar a cabo la medición de la evaporación, se requiere una tina o garrafón, alambre, un mesón o plataforma y un vaso con medidas en mililitros.

Procedimiento:

1. Coloque la tina en un mesón o plataforma elevada. Llénela con agua hasta aproximadamente tres cuartos de su capacidad.
2. Doble el alambre para formar un gancho hacia arriba y colóquelo en la tina, asegurándose de que la cuña o la punta del gancho quede justo al nivel del agua.
3. Después de 24 horas, observe el nivel del agua, que, debido a la evaporación, estará por debajo del nivel de la cuña.

4. Utilizando el vaso medidor, añade la cantidad necesaria de agua para restablecer el nivel al de la cuña.

5. La cantidad de agua adicionada representa la cantidad evaporada en las últimas 24 horas. Este procedimiento puede repetirse semanalmente para mediciones más amplias.

Este método simple y efectivo permite evaluar la evaporación en un período determinado, brindando información útil para el monitoreo regular.

2. Mantenimiento

Mantenimiento de la Red de Riego: Consejos Prácticos

Antes del Primer Riego:

Antes de comenzar con el primer riego, es importante llevar a cabo una limpieza de las tuberías principales y laterales. Esto se logra permitiendo que el agua circule por la red con un poco más de presión de lo habitual. Deben dejarse abiertos los extremos de las tuberías para evacuar posibles restos de plástico generados durante el montaje y la acumulación de suciedad en el interior de la red.

Antes del Comienzo de la Temporada de Riegos:

1. Abrir los extremos de las tuberías y permitir que el agua circule.
2. Poner la red en funcionamiento para detectar posibles fugas.
3. Realizar la prueba de uniformidad de aplicación para asegurar una distribución uniforme del agua.

Durante la Temporada de Riegos:

1. Revisar regularmente en busca de posibles fugas.
2. Realizar la prueba de uniformidad aproximadamente una vez durante la temporada.
3. Inspeccionar visualmente en busca de signos de daño o deterioro.

Después de la Temporada de Riegos:

1. Reparar las fugas detectadas durante la campaña de riego.
2. Drenar la red de tuberías, incluyendo los laterales.
3. Abrir todas las válvulas.
4. Revisar en busca de signos de corrosión y consultar con un técnico para posibles medidas de corrección.

Estos sencillos pasos ayudarán a mantener la red de riego en buen estado y asegurar un sistema eficiente durante toda la temporada.

Mantenimiento de los Goteadores en el Riego Localizado

El principal desafío en el riego localizado es la obstrucción, que provoca una pérdida de uniformidad y, por ende, un desarrollo no uniforme del cultivo, resultando en una disminución de la producción. Además de un mantenimiento adecuado del sistema de riego, es crucial prevenir obstrucciones en los emisores y otros elementos con secciones de paso de agua muy pequeñas, como filtros de malla y de anillas, para evitar la acumulación de partículas orgánicas y minerales que puedan obstruir el flujo del agua.

Antes de la Temporada de Riego:

1. Revisar la presencia de emisores dañados o deteriorados.
2. Verificar visualmente que los emisores estén funcionando correctamente.
3. Implementar medidas preventivas para evitar obstrucciones.

Durante la Temporada de Riego:

1. Verificar que no haya emisores dañados o deteriorados.
2. Asegurarse de que los emisores funcionen correctamente.
3. Tomar medidas preventivas o correctivas para evitar problemas de obstrucciones.

Después de la Temporada de Riego:

1. Realizar pruebas de uniformidad en la aplicación del agua.
2. Inyectar una dosis fuerte de ácido, cloro u otro limpiador si existen problemas de obstrucción química o biológica.

Evitar Problemas de Taponamiento en Goteadores en Sistemas de Riego

Los taponamientos en los goteadores pueden causar problemas en los sistemas de riego, afectando la distribución uniforme del agua y, en última instancia, el crecimiento de los cultivos. Aquí te presentamos medidas preventivas y correctivas fáciles de entender para evitar este inconveniente:

Medidas Preventivas	Medidas Correctivas
<p>Inspección Regular: Antes de Iniciar la Temporada de Riego: Revisa los goteadores para detectar posibles daños o desgastes. Asegúrate de que visualmente los goteadores funcionen correctamente.</p>	<p>Inspección Continua: Durante la temporada de riego, verifica visualmente si hay goteadores dañados o con obstrucciones.</p>
<p>Filtración Efectiva: Usa filtros de malla o anillas para evitar que partículas obstruyan los goteadores. Limpia o reemplaza los filtros regularmente.</p>	<p>Limpieza Manual: En caso de obstrucción visible, limpia manualmente los goteadores retirando cualquier partícula o sedimento.</p>
<p>Mantenimiento del Sistema: Realiza una limpieza de las tuberías antes de la temporada de riego. Evita el uso de aguas con alta carga de sedimentos.</p>	<p>Tratamiento Químico: Si hay obstrucciones persistentes, considera el uso de productos químicos como ácido o cloro para disolver acumulaciones.</p>
	<p>Pruebas de Uniformidad: Después de la temporada de riego, realiza pruebas para asegurar la uniformidad en la aplicación del agua.</p>

Medidas preventivas y correctivas de obturaciones físicas

Tipo de Medida	Cuándo Aplicar	Acciones
Medidas Preventivas	Antes de Iniciar la Temporada de Riego	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeccionar y limpiar las tuberías antes del inicio de la temporada. - Verificar el estado de los filtros y limpiarlos si es necesario.
	Durante la Temporada de Riego	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar filtros de malla o anillas para prevenir la entrada de partículas sólidas. - Evitar el uso de aguas con alta carga de sedimentos.
	Continuamente	<ul style="list-style-type: none"> - Mantener las áreas circundantes libres de materiales que puedan obstruir las entradas de agua
Medidas Correctivas	Durante la Temporada de Riego	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeccionar visualmente las tuberías en busca de obstrucciones físicas y limpiarlas manualmente si es necesario.
	libres	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar herramientas o dispositivos de limpieza para eliminar obstrucciones físicas en las tuberías.
	Después de la Temporada de Riego	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar una limpieza a fondo de las tuberías y filtros.

Medidas preventivas y correctivas de obturaciones biológicas

Tipo de Medida	Cuándo Aplicar	Acciones
Medidas Preventivas	Antes de Iniciar Temporada de Riego	- Realizar un mantenimiento adecuado de las áreas circundantes para prevenir la proliferación de organismos biológicos.
	Durante la Temporada de Riego	- Utilizar sistemas de filtración efectivos, como filtros de malla fina, para evitar la entrada de organismos biológicos.
	Continuamente	- Monitorear y controlar la calidad del agua utilizada en el sistema de riego para prevenir la presencia de organismos biológicos.
Medidas Correctivas	Durante la Temporada de Riego	- Inspeccionar visualmente las tuberías en busca de la presencia de organismos biológicos y limpiarlas manualmente si es necesario.
	En Caso de Problemas Persistentes	- Considerar el uso de tratamientos químicos específicos para controlar y eliminar organismos biológicos en el sistema de riego.
	Después de la Temporada de Riego	- Realizar una limpieza a fondo de las tuberías y filtros.



Fuente: (PortalFruticola, 2022)

Nociones básicas de riego y drenaje

Introducción a Riego y Drenaje en Agricultura

La agricultura moderna depende en gran medida de la gestión eficiente del agua a través de sistemas de riego y drenaje. Estos componentes esenciales permiten optimizar el suministro de agua a las plantas y controlar el exceso de humedad en el suelo. En esta introducción, exploraremos la importancia de estos sistemas y cómo contribuyen al éxito de la producción agrícola.

Riego: Satisfaciendo la Sed de las Plantas

El riego es el proceso de suministrar agua artificialmente a los cultivos para compensar la falta de lluvias o para mejorar la distribución del agua. Al aplicar agua de manera controlada y eficiente, se busca garantizar el crecimiento saludable de las plantas, mejorar la calidad de los cultivos y aumentar los rendimientos. Los sistemas de riego varían desde métodos tradicionales hasta tecnologías avanzadas, como el riego por goteo y la aspersión, que ofrecen mayor precisión y ahorro de agua.

Drenaje: Evitando los Excesos Hídricos

Aunque el agua es esencial para el crecimiento de las plantas, un exceso puede ser perjudicial. Los sistemas de drenaje son fundamentales para eliminar el exceso de agua del suelo, evitando la saturación y problemas como el encharcamiento y la salinidad. El drenaje efectivo también contribuye a la aireación del suelo, promoviendo condiciones óptimas para el desarrollo de las raíces y la actividad microbiana.

¿Qué Significa el Punto de Marchitez en el Suelo?

El punto de marchitez en el suelo es la cantidad mínima de humedad que las plantas pueden absorber antes de mostrar signos de marchitamiento. Cuando la humedad disponible en el suelo es

insuficiente para las necesidades de la planta, se alcanza este punto, que puede ser temporal o permanente según las condiciones.

Este punto se representa como un porcentaje y se calcula considerando la relación entre la humedad del suelo y el peso o volumen de la tierra seca. Varios factores, como el tipo de suelo, la temperatura, la salinidad y la estructura del suelo, influyen en este valor.

¿El Punto de Marchitez Permanente Siempre Es el Mismo para Todas las Plantas?

No, el punto de marchitez varía según el tipo de planta, ya que cada especie tiene sus propias necesidades de agua y capacidad de resistencia.

¿Depende el Punto de Marchitez de la Textura del Suelo?

Sí, el tipo de suelo influye en el punto de marchitez. Por ejemplo, en suelos arcillosos, el punto de marchitez permanente se alcanzaría con un 15-20% de humedad del suelo, mientras que, en suelos arenosos, sería del 5-10%, ya que los suelos más finos retienen menos agua.

Capacidad de Campo en el Suelo: Un Vistazo Sencillo

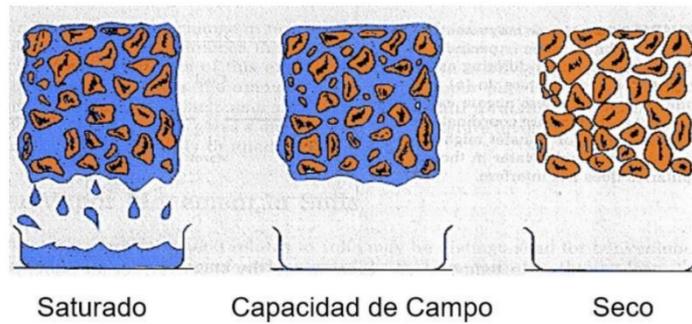
La capacidad de campo (CC) en el suelo se refiere a la cantidad de agua que permanece en el suelo después de haber sido saturado con agua. Este valor se expresa como un porcentaje en volumen con respecto al suelo seco. Imagina la capacidad de campo como la cantidad de humedad en el suelo cuando el agua deja de fluir por gravedad. En otras palabras, es el punto en el que el agua libre o gravitacional ya no está presente en el suelo (CENTRO DE INVESTIGACIONES RURALES, 2022).

En suelos con buen drenaje interno, la capacidad de campo representa la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener. Es como el "punto óptimo" de humedad donde el suelo se encuentra bien hidratado, pero sin exceso de agua. Entender la capacidad de campo es esencial para gestionar adecuadamente el riego y garantizar condiciones ideales para el crecimiento de las plantas.

Punto de Saturación en el Suelo

El Punto de Saturación (PS) en el suelo es la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener. Este punto está influenciado por la cantidad y el tipo de arcilla presentes, así como por la concentración de materia orgánica en el suelo.

Imagina el punto de saturación como el momento en el que el suelo ha absorbido toda el agua que puede contener. Factores como la composición de arcilla y la cantidad de materia orgánica determinarán cuánta agua puede retener el suelo en este punto. Comprender el punto de saturación es clave para gestionar eficazmente el riego y garantizar que las plantas obtengan la cantidad adecuada de agua sin excesos que puedan afectar negativamente su desarrollo.



Suelos Francos

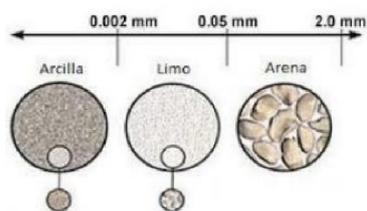


Fuente: (Mula, 2012)

Los suelos francos son una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, lo que los hace ideales para la agricultura y otros usos. Estos suelos no son demasiado arcillosos ni excesivamente arenosos, lo que los convierte en terrenos productivos, especialmente comunes en las vegas de los ríos.

Características de los Suelos Francos:

Equilibrio de Texturas: Compuestos por arena, limo y arcilla en proporciones óptimas o cercanas, proporcionando una textura equilibrada.



Fuente: (Porta, Acevedo, & Roquero, 2003)

Productividad Agrícola:	<ul style="list-style-type: none"> Exhiben una gran productividad agrícola gracias a su equilibrio textural.
Textura Suelta:	<ul style="list-style-type: none"> La presencia de arena contribuye a una textura suelta en la superficie del suelo.
Fertilidad:	<ul style="list-style-type: none"> La presencia de limo aporta fertilidad al suelo
Retención de Humedad:	<ul style="list-style-type: none"> La arcilla garantiza una correcta retención de humedad.
Color y Composición:	<ul style="list-style-type: none"> La arcilla garantiza una correcta retención de humedad.
Textura de los Suelos Francos:	<ul style="list-style-type: none"> La textura de los suelos francos es el resultado de un equilibrio entre partículas de arena, limo y arcilla en las capas superficiales.

Construcción de Reservorios de Agua

La captación de agua de lluvia es directamente influenciada por los niveles de precipitación característicos de la región de estudio. En el área de Cascajo, es esencial maximizar la captación de este recurso hídrico para garantizar un suministro sostenible de agua destinado a la producción agrícola. Para cumplir con esta necesidad, se ha determinado un diseño estándar de embalse o reservorio con dimensiones de 17 metros de longitud, 15 metros de ancho y 2 metros de profundidad.

Este reservorio está diseñado para cubrir aproximadamente 74% de las demandas hídricas de un invernadero de 1000 metros cuadrados destinado a producción hortícola de pimiento y tomate. La estimación de metros cúbicos de agua se estiman de la siguiente manera:

Primeramente se calcula el área del invernadero y el reservorio, ya que esta será determinante de cuanto precipitación se podrá captar. Por medio de la plataforma climate data, estime la precipitación mensual del sector Bellavista o cercanías.

Ecuaciones

a. Captación del reservorio (m³)=mm mensual x 0.001x área del reservorio

b. Captación del invernadero (m³)=mm mensualx 0.001 x Ce x Área del invernadero

Ce es el coeficiente de escorrentía, este representa cuanto agua de la precipitación se esta captando. En superficies impermeables tiene un valor de 0,8 a 0,6.

c. Evaporación mensual(m³)=Eto mensual x 0.001 x Área del reservorio

La evaporación mensual se obtiene a partir del software cropwat, especificando las condiciones climáticas de su área. Este software solo esta disponible en PC, su descarga es gratuita en la FAO.

d. Total de agua captada= Cap.Reservorio+Cap.Invernadero-Evaporación mensual

Con estas ecuaciones, se obtiene el total de agua captada por cada mes, luego realiza una sumatoria para la estimación anual de agua disponible.

En términos cuantitativos, estas dimensiones permiten almacenar hasta 459 metros cúbicos de agua, manteniendo 20 centímetros de gracias, sin riesgo de desbordamiento del borde del reservorio. Se estima un requerimiento hídrico anual de 730.1 metros cúbicos para las operaciones productivas del invernadero.

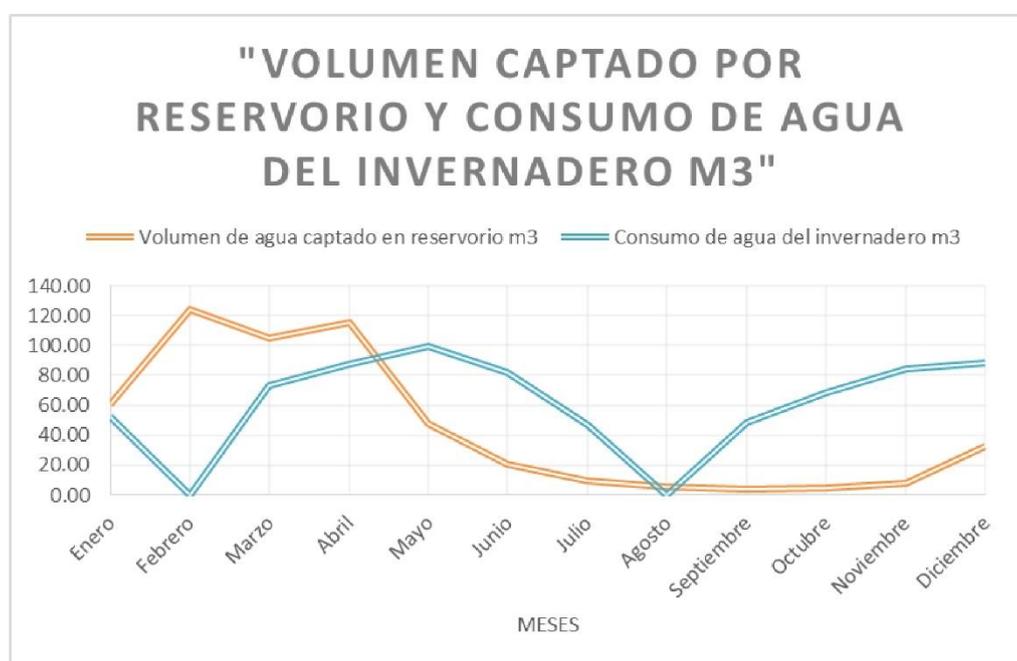
En base al manual Captación y mantenimiento de agua lluvia (FAO, 2013), una superficie impermeable con inclinación de 25 a 30 grados puede tener un coeficiente de escorrentía de 0.8, dentro de los calculos estimados en el sector de Cascajo, a partir de la base meteorológica de Bellavista, se estima una captación de 537.8 metros cubicos anuales con un coeficiente de escorrentía de 0.7.



En la gráfica volumen captado por reservorio y consumo de agua del invernadero m³, se detalla como por épocas la cantidad de agua captada es superior a los requerimientos hídricos del invernadero. En los meses de enero, febrero y agosto la captación del recurso es notablemente superior. Anualmente la captación del reservorio a partir de la escorrentía del techo del invernadero y área superficial es de 233,19 m³ , mientras que el consumo de agua del invernadero es de 69.73 m³ .

El diagrama de torta muestra el porcentaje de agua utilizada por el invernadero de forma anual, 730.1 m³ del cual 74% es suministrado por las precipitaciones captadas por el invernadero y mientras que el 26% corresponde a tanqueros de agua para satisfacer la necesidad hídrica. Considerando los valores de dinámicas productivas, un agricultor ahorra 1960 USD anualmente en el suministro de agua privado, en el caso de que el tanquero tenga un precio estable de 40 USD por tanqueo.

Considerando dos ciclos productivos de tomate y pimiento que se siembran en los meses de marzo y septiembre, la cosecha se estima acabará en los meses de febrero y agosto. Se debe priorizar la captación de agua en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, los cuales son cruciales para el abastecimiento hídrico el resto del año.



Bibliografía

CENTRO DE INVESTIGACIONES RURALES. (2022). Rehabilitación de micro reservorios y construcción de invernaderos en los cantones Sant Cruz e Isabela de las Islas Galápagos. 1-100.

Gurovich, L. A. (1985). Fundamentos y diseño de sistemas de riego. Ica, 59.

INTAGRI. (2015). Sistema de Riego por Goteo. Obtenido de INTAGRI:
<https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo>

Liotta, M. A. (2015). Riego por goteo. . PROSAP INTA.

Mula, J. A. (2012). Identifica tu suelo y aprende a mejorar sus propiedades. Obtenido de Agromatica: <https://www.agromatica.es/caracteristicas-del-suelo/>

Porta, C. J., Acevedo, R. M., & Roquero, L. C. (2003). Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3ra. Edición. Ediciones Mundi-Prensa., 960 p.

PortalFruticola. (25 de 01 de 2018). La capacidad de campo de un suelo: técnicas para su medición . Obtenido de PortalFruticola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/01/25/lacapacidad-de-campo-de-un-suelo-tecnicas-para-su-medicion/>

PortalFruticola. (2022). Prácticas de prevención a la obstrucción de goteros. Obtenido de PortalFruticola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2023/11/10/practicas-de-prevencion-a-laobstruccion-de-goteros/>

San Juan, J. A. (1985). Riego por goteo: teoría y práctica. IICA Biblioteca Venezuela.