

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

ANÁLISIS Y RECOMENDACIÓN DE PARÁMETROS Y MATERIALES PARA EL
DISEÑO DE AMBIENTE PROTEGIDO PARA LA REPRODUCCIÓN DE CAFÉ POR
MEDIOS ASEXUALES EN LA EMPRESA MICRO PLANTAS, UBICADA EN
DESAMPARADOS DE ALAJUELA

GLENDAMARÍA BURGOS ARAYA

CARTAGO, 2018

ANÁLISIS Y RECOMENDACIÓN DE PARÁMETROS Y MATERIALES PARA EL
DISEÑO DE AMBIENTE PROTEGIDO PARA LA REPRODUCCIÓN DE CAFÉ POR
MEDIOS ASEXUALES EN LA EMPRESA MICRO PLANTAS, UBICADA EN
DESAMPARADOS DE ALAJUELA

Glenda María Burgos Araya

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Armando Alvarado Chaves
Asesor

Marvin Villalobos Araya
Director

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2018

Índice de contenidos

Índice de contenidos.....	i
Índice de figuras.....	iv
Índice de cuadros	iv
Índice de ecuaciones	v
Resumen.....	vi
Abstract	vii
Introducción	8
Objetivos	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos.....	10
Revisión de literatura	11
Antecedentes del café en el país.....	12
Propagación del café y sus implicaciones	13
Ambientes protegidos	14
Tipos de invernaderos	15
Materiales de cubierta para estructuras de uso agrícola.....	16
Características especiales de los plásticos.....	17
Mallas.....	23
Mallas sombra	24
Cobertura para suelo	26
Materiales para la estructura de los invernaderos	27
Madera	28
Aluminio	28
Hierro	28
Plagas que afectan los almácigos de café.....	30
Estructura para los mini jardines, enraizamiento y desarrollo de las estacas de café	31
Orientación del invernadero	33

Cargas de la estructura	34
Ventilación dentro de la estructura	37
Tipos de cercha	42
Pies derechos.....	45
Metodología	47
Ubicación del área de estudio	48
Levantamiento topográfico y nivelación.....	48
Investigación del cultivo	48
Tipo de invernadero y cercha.....	49
Elección de materiales	49
Malla	49
Cubierta.....	49
Pantalla de sombreo	49
Cobertor de suelo	49
Disponibilidad de materiales.....	49
Dimensiones.....	50
Condiciones climáticas	50
Diseño de la canoa	51
Investigación para valorar la posibilidad de importar el invernadero	52
Análisis económico	52
Análisis social y ambiental.....	52
Resultados y discusión	53
- Topografía y nivelación	54
- Tipo de invernadero y cercha.....	55
- Elección de la malla	57
- Elección de cubierta	57
- Elección de pantalla de sombreo.....	57
- Cobertor de suelo	57
- Disponibilidad de materiales.....	57
- Dimensiones de las naves del invernadero.....	58

- Cimentaciones	59
Diseño de la canoa	59
- Condiciones climáticas.....	59
- Lista de materiales.....	61
- Investigación para valorar la posibilidad de importar el invernadero	62
Análisis económico	63
Análisis ambiental.....	64
Impacto social	65
Conclusiones	66
Recomendaciones.....	68
Bibliografía	70
Anexos	76

Índice de figuras

Figura 1. Diferencia entre un plástico transparente y uno difuso.....	19
Figura 2. Comparación entre una película térmica y otra no térmica	20
Figura 3. Relación entre las propiedades de la cubierta y el clima del invernadero	21
Figura 4. Orientación de un invernadero.....	33
Figura 5. Tipos de zapatas.....	35
Figura 6. Cimentación de tubo de acero en zapata de hormigón	36
Figura 7. Proporciones usuales para obtener un metro cúbico de concreto	37
Figura 8. Colocación de equipos para ventilación mecánica o forzada	39
Figura 9. Ventilación mecánica húmeda.....	40
Figura 10. Tipos de ventanas cenitales en techos curvos.....	43
Figura 11. Cercha con ventana cenital fija, techo gótico tropical	44
Figura 12. Cercha con ventana cenital fija en invernadero asimétrico	44
Figura 14. Tipo de cercha para invernadero para café	56
Figura 15. Parámetros de diseño de la canoa	60
Figura 16. Material vegetal usado para la embriogénesis somática.....	7
Figura 17. Plantas madre de café en un ambiente protegido.....	7
Figura 18. Tamaño de los insectos más comunes que atacan los cultivos	8
Figura 19. Invernadero con cielo raso de sarán	9
Figura 20. Esquejes cosechados de café	10
Figura 21. Mini túnel plástico usado en la segunda etapa del proceso de embriogénesis somática.....	10
Figura 22. Invernadero tipo capilla con dos naves.....	11
Figura 23. Nivelación topográfica del terreno donde se construirá el invernadero.....	12
Figura 24. Distribución de camas de almácigo de café dentro de las tres naves de invernadero	13
Figura 25. Mira microscópica de malla anti insectos con mesh 50.....	14

Índice de cuadros

Cuadro 1. Plagas que afectan el café.....	30
Cuadro 2. Dimensiones de invernaderos tipo capilla en función de la pendiente y distancia entre pies derechos	46

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo del caudal de aire dentro del invernadero	38
Ecuación 2. Calculo del número de ventiladores	38
Ecuación 3. Cálculo del volumen unitario	50
Ecuación 4. Cálculo de caudal con el método racional.....	51

Resumen

La agricultura moderna se caracteriza por hacer uso de tecnologías que brinden productos de calidad y que sus cosechas puedan obtenerse durante todo el año. Una de esas herramientas que facilitan la producción de cultivos comunes, pero con opciones alternativas, como lo es la adquisición de plántulas a partir de esquejes de plantas madres, son los ambientes protegidos.

Debido a la demanda de almácigos de café de variedades como geisha, que han llevado al país a estar en la cima de certámenes de alta calidad, la empresa Micro Plantas, ubicada en Desamparados de Alajuela, desarrolla el proyecto de venta de esquejes reproducidos vegetativamente. Actualmente se cuenta con una estructura un poco deteriorada y se ve la necesidad de construir otra obra que sea diseñada específicamente para tal fin.

El invernadero diseñado cuenta con las dimensiones, estilo de cercha, diseño de la canoa y materiales de alta calidad, que ofrecen las condiciones idóneas para la instalación de los mini jardines y mini túneles. El proyecto es totalmente viable económicamente por lo que su construcción se considera una buena inversión para la empresa.

Abstract

Modern agriculture is characterized by using technologies that provide quality products and their crops can be obtained throughout the year. One of those tools that facilitate the production of common crops, but with alternative options, such as the acquisition of seedlings from cuttings of mother plants, are greenhouses.

Due to the demand for coffee seedlings of varieties such as geisha, which have led the country to be at the top of high quality contests, the company develops the project of sale of vegetative propagated cuttings. Currently, it has a slightly deteriorated structure and the need to build another work that is specifically designed for that purpose is seen.

The greenhouse design has the dimensions, style of truss, canoe design and high quality materials, which offer the ideal conditions for the installation of mini gardens and mini tunnels. The project is economically viable; its construction is considered a good investment for the company.

Introducción

El proyecto se desarrolló en la finca de la empresa Micro plantas S.A, la misma se encuentra en una etapa de desarrollo y ampliación. Uno de los proyectos más exitosos que han hecho crecer la parte de campo de la empresa, ha sido la propagación de café por medios vegetativos.

El café fue el producto que se comercializó internacionalmente de primero y en la actualidad ha llevado el nombre de Costa Rica a las grandes ferias y subastas, por la producción de cafés de alta calidad en taza.

Para mantener y mejorar ese producto de calidad que está caracterizando al país, es importante asegurarse de que la genética de excelencia sea transmitida a las próximas generaciones y la reproducción vegetativa parece ser la indicada, ya que hereda el 100% de las características de las plantas madres.

El propósito de este trabajo es brindar las condiciones necesarias para que el café logre alta productividad en cuanto a esquejes y nuevos brotes, que posteriormente se convertirán en plantas con esas características excepcionales de la variedad deseada. Con ellas, se realizará el diseño de un ambiente protegido que albergará la etapa de mini jardines clonales, dónde serán colocadas las plantas madres y mini túneles donde cada esqueje forma su raíz para finalmente ser vendido a raíz desnuda.

Además, se estudiará la zona geográfica donde será ubicado el invernadero, para tomar en cuenta en el diseño, las condiciones climáticas y de nivelación, necesarias para la construcción. La escogencia de materiales es de suma importancia para garantizar que la obra brinde el ambiente protegido buscado para continuar con un producto de excelencia que caracteriza a la empresa.

Objetivos

Objetivo General

- Analizar y recomendar los parámetros y materiales necesarios para el diseño de una estructura de ambiente protegido.

Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de parámetros y materiales, para el diseño de una estructura de ambiente protegido, que provea las condiciones ambientales óptimas que el cultivo necesita para mejorar su calidad, aumentar rendimientos y producir durante todo el año.
- Realizar los estudios ambientales, sociales y económicos que puedan influir en la implementación del proyecto.

Revisión de literatura

Antecedentes del café en el país

En Costa Rica el cultivo del café ha sido de gran importancia para el sector agrícola, desde su introducción en la región a finales del siglo XVIII. De ahí, hasta la actualidad ha sufrido numerosos cambios, desde la manera de reproducirlo, hasta las variedades que se comercializan dentro y fuera de las fronteras. (Renjifo, 1992)

El café es de origen etíope, el género *Coffea* posee entre 25 a 40 variedades entre Asia y África, pertenece a la familia Rubiaceae. Hoy en día existe una división sugerida por (A.E Haarer, 1963), en la cual se clasifica el café en cuatro grandes especies o grupos reconocidas mundialmente y de las cuales se derivan los híbridos y demás variedades: café arábigo (*C. arabica* L.), café robusta (*C. canephora* Pierre ex Froehner), café liberiano (*C. liberica* Mull ex Hiern), y café excelso (*C. excelsa* A. Chev.); además, existe una gran cantidad de otras especies llamadas económicas, que se plantan en escala local y normalmente no entran a los canales comerciales. (A.E Haarer, 1963)

Cada una de esas cuatro especies tiene sus requerimientos en cuanto a altitud, temperatura, brillo solar, así como también cada uno posee sus características organolépticas en cuanto a sabor, olor, tamaño del grano, grado brix, tueste y procesamiento. Por las condiciones geográficas de Costa Rica, aquí se desarrollaron más variedades de la especie Arábica (café de altura), sin embargo el ICAFE está introduciendo de la especie Robusta en lugares de baja altura, con el fin de desarrollar la economía de pueblos marginales que no poseen las condiciones para desempeñar otras actividades económicas. (Barquero M. , 2016)

El cultivo del café se ha caracterizado en el país por dividir la sociedad en clases sociales, en sus inicios los caficultores eran personas poderosas económicamente hablando, fue pasando a clases medias bajas y hoy en día los grandes productores exportan el “grano de oro” a naciones como Japón y Taiwán que pagan hasta \$8000 por quintal (La Nación, 2017), también

existen los productores que han sido azotados por plagas como la roya o la broca quedando en la ruina.

Propagación del café y sus implicaciones

Los métodos de reproducción para este cultivo son dos: por semilla y por medios vegetativos. Esto va de la mano con el mejoramiento genético al que ha sido expuesto en los últimos años y las exigencias del mercado local e internacional, ya que al inicio sólo se tomaba en cuenta el volumen de recolección, pero ahora se analiza la resistencia a plagas y principalmente la clasificación de la taza que se está produciendo. Éste último aspecto depende el precio que se le asigne por quintal en las ferias que se realizan en países como Japón. (Mejía, 2016)

Es importante resaltar que Costa Rica compite con grandes productores como lo son Brasil y Colombia, por ello es que estratégicamente en los últimos años se ha apostado por un café de calidad y no cantidad, por el que estén dispuestos a pagar precios altos.

Como se mencionó anteriormente la manera más común de propagar el café históricamente ha sido por medio de la semilla, sin embargo, se sabe que de esta forma se obtiene sólo la mitad de los genes de la planta madre, mientras que por los medios vegetativos (embriogénesis somática) se puede heredar el 100% de la genética de la progenitora. (Murillo, Badilla Valverde , Villalobos , & Rojas Parajeles, 2013)

Según Murillo (2014), existen dos tipos de propagación asexual:

1. A partir de alguna de sus estructuras vegetativas o segmentos de órganos como esquejes, estacas, acodos, raíces y brotes adventicios, injertos o yemas y rebrotes basales.
2. La otra manera es por medio de la regeneración de plantas completas (cultivo in vitro) a partir de micro propagación como meristemos, brotes florales y cultivo de células.

La embriogénesis somática es una manera de reproducción asexual que utiliza partes de tejido de la planta (hojas, flores, tallos, raíces, entre otros), éstos se llevan a condiciones apropiadas para un cultivo in vitro (medios de cultivo, reguladores de crecimiento, fotoperíodo, entre otros) se potencia el desarrollo de embriones asexuales. En café, se usa segmentos de hoja para el proceso de proliferación de células embriogénicas y formación de masas de callo embriogénico. (Ver Anexo 1) (CATIE, 2016).

Al brindarle condiciones adecuadas a los embriones se consigue un desarrollo embriogénico correcto y los convierten en seres vegetales completos, listos para seguir las etapas biológicas de una planta común, pero con características muy específicas. (CATIE, 2016).

Luego de realizar todos los procedimientos biotecnológicos pertinentes, la nueva planta debe ser trasladada a un invernadero que le proporcione un ambiente protegido para desarrollarse de la mejor manera. La nueva planta va a formar parte de lo que se le llama en el proceso mini jardín clonal, siendo ésta la madre de las estacas que se producirán posteriormente. (Ver Anexo 2).

Ambientes protegidos

Un invernadero es una estructura que protege un cultivo de las adversidades climáticas que azotan las plantaciones en exteriores, se trata de crear un ambiente protegido o controlado según las exigencias de las plantas con que se trabaja. Permiten cosechar y sembrar fuera de la temporada dónde se hace normalmente. (Prados, 2007).

Algunas ventajas del uso de invernaderos son la mejora en la calidad de frutos, control de los tiempos de cosecha, ahorro de agua y fertilizantes al proporcionar sólo la cantidad necesaria para cada etapa y con ello mejorar el rendimiento por planta, teniendo cosechas más productivas. (Sarmiento, 2017).

La clasificación de un ambiente protegido depende de los materiales que se utilicen para su construcción, nivel técnico, acondicionamiento, nivel de montaje, mantenimiento, dimensiones y tipo de cultivo para el que se diseñó. (HortiCultivos, 2017).

Tipos de invernaderos

Según (EPR Agrícola, 2017) los invernaderos se clasifican usando los siguientes cuatro parámetros, para diferenciar unos de otros.

1. Invernaderos de acuerdo a la temperatura interna que alcanza: fríos (alrededor de 5 grados centígrados por encima de la temperatura invernal exterior), cálidos (temperatura mínima de 18 grados centígrados, adecuado para cultivos tropicales) o templados (alcanza una temperatura media de 13 grados, útil para hortalizas y plantas de ciclo anual. (MSC Invernaderos, 2016).
2. Material de cubierta: con cubiertas de vidrio, plástico o sarán. Esto depende en gran medida del clima de la zona donde esté instalado (viento, lluvia, nieve), el grado de protección que se quiere brindar y cantidad de luz que necesite el cultivo.
3. Tipo de estructura: madera, hierro, aluminio, hormigón o mixtos. Para la escogencia de uno u otro se debe analizar la disponibilidad de cada material, la técnica que se emplea para la manipulación del mismo y presupuesto destinado a su construcción.
4. Tipo de forma: túnel, gótico, parral, capilla, casa sombras, entre otros.

Según (Villalobos, 2004) los invernaderos se clasifican según su forma de la siguiente manera.

- Invernadero tipo túnel: hay micro túneles o los macro túneles, pero su estructura es fácil de instalar y resistentes a los fuertes vientos, posee características como el gran paso de luz debido a los pocos obstáculos que tiene en su interior la estructura, posee buen control de temperatura, fácil evacuación de agua pluvial, resistente a los vientos. Uno de sus inconvenientes es el costo elevado.
- Invernadero capilla: su construcción y mantenimiento no es muy complejo, pueden ser simples o doble. Los simples pueden tener una o dos aguas dependiendo de los planos inclinados que forme el techo. Las ventanas cenitales son fáciles de instalar y

favorecen la ventilación vertical en las paredes laterales, pero si se colocan en batería disminuye notablemente el movimiento del aire en su interior.

- Diente de sierra: es la unión de baterías de invernaderos a un agua, cada una de las naves tiene la cubierta con inclinaciones generalmente de 30 grados. Su nombre se debe a la forma que aparentan al verlos de lejos colocados en forma sucesiva, ya que la parte baja del techo de uno topa con la parte superior del siguiente. Para la evacuación de aguas se debe colocar canaletas, ya que sino el agua de todo el plano inclinado penetraría dentro del invernadero.
- Invernaderos asimétricos: deben construirse en sentido este – oeste. Poseen la ventaja de captar mayor radiación que los demás, buena evacuación de agua de lluvia por sus pendientes y una buena ventilación.

Materiales de cubierta para estructuras de uso agrícola

Es de gran importancia la escogencia adecuada de los materiales de cubierta que se usan en los invernaderos, ya que intervienen en factores que pueden afectar los cultivos, como luz, temperatura o humedad dentro de la estructura. (Espí, 2012).

Actualmente se pueden encontrar filmes monocapa, tricapa y pentacapa. También se usan polímeros, polietileno de baja densidad (LDPE), y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo (EVA) y acrilato de butilo (EBA) representan más del 80% del mercado mundial, el cual incluye también PVC en Japón y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) en el resto del mundo. (Espí, 2012).

Según (Infoagro, 2017) las características en cuanto a propiedades físicas, que se deben tomar en cuenta a la hora de elegir una cubierta para un invernadero, macrotúnel, microtúnel, acolchados, mallas para un cultivo, control de plagas (plásticos fotoselectivos), control de enfermedades (solarización), son las siguientes:

1. Peso: los materiales flexibles como el plástico tienen la ventaja de agregar poco peso a la estructura, además de brindar una mejor uniformidad de la luz a lo interno y con ello

reducir el sombreo. Los materiales rígidos aportan un mayor peso y sus presentaciones están en tamaño más reducido por lo que se requiere un mayor número de soportes.

2. Densidad: esta cualidad trata sobre la cristalinidad de los polímeros. Por medio de ella se puede cambiar la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una baja densidad facilita la manipulación, transporte, precio e instalación.
3. Resistencia a la rotura: tiene que ver con la deformidad por altas o bajas temperaturas, así como azote de ráfagas o vientos sostenidos a grandes velocidades.
4. Espesor: las unidades para medirlos van a depender del material que sea, si se trata de vidrio o plásticos rígidos se mide en milímetros y para filmes se usan micras o galgas. De estos últimos se recomiendan espesores entre los 200 – 800 galgas para proteger el cultivo en las bajas temperaturas. Es importante recordar que 100 metros equivalen a 400 galgas.
5. Envejecimiento físico: está compuesto por la degradación de propiedades físicas, radiométricas y mecánicas de los materiales. Para determinar las primeras simplemente se deben hacer observaciones visuales que revelen desgarraduras, desprendimiento de capas, fractura (materiales rígidos). Para medir el envejecimiento radiométrico (transmisión de luz), se pueden realizar mediciones periódicas de la radiación fotosintética (PAR), deberá encontrarse entre los 400 y 700 nm. Este valor es de suma importancia para el desarrollo óptimo de las plantas.

Las propiedades mecánicas son la resistencia a la tensión, elongación, resistencia al rasgado e impacto. En zonas donde se presentan velocidades de viento altas, es importante considerar estas características. (Villareal, 2017).

Características especiales de los plásticos

Dependiendo de las exigencias del cultivo y de la zona geográfica en la que se va a ubicar el invernadero es importante tomar en cuenta algunas propiedades que poseen actualmente estas cubiertas plásticas, con el fin de facilitar el manejo y brindar las condiciones ideales para el desarrollo óptimo de las plantas con que se trabaja. Algunas de ellas se mencionan a continuación:

- Repelencia al polvo: en zonas con pocas precipitaciones es importante tomar en cuenta esta propiedad, ya que el polvo causa una disminución gradual de la transmisión de la luz a lo interno del invernadero. La capacidad del plástico para dejar entrar la luz a la estructura puede verse reducida en más del 30%. (Villareal, 2017). Los materiales de cubierta más novedosos introducidos en el mercado son los llamados superficies super hidrofóbicas o auto limpiables, inspirados en la planta de loto que posee la característica de no mojarse a pesar de tratarse de una planta acuática, estudios científicos indagaron la causa, del porqué las gotas esféricas al estar en contacto con las hojas de la planta se deslizaban y arrastraban con ellas la suciedad, protegiéndola de bacterias, humedad y hongos encontrados en las aguas donde crecen naturalmente estas plantas. (Taborda, 2013).
- Efecto anti goteo: son láminas modificadas superficialmente con el objetivo de aumentar su higroscopicidad (capacidad de absorber humedad) de manera que, al producirse condensación sobre ellos, se forme una lámina continua transparente y no de gotas aisladas, modificando la tensión superficial del fluido se logra que la gota al entrar en contacto con el material de cubierta tenga un ángulo más pequeño y ésta sea más plana para unirse unas con otras y sean arrastradas hacia los costados. Esta propiedad favorece la transmisividad al reducir las reflexiones de la luz y su desventaja es la corta vida del aditivo, ya que es degradado fácilmente por la radiación solar, sin embargo, se trabaja científicamente para que permanezcan durante toda la vida útil del plástico. (Infoagro, 2017). También posee una menor transmisión infrarroja por lo que ayuda a la pérdida de calor durante la noche.
- La transmitancia: según (Infoagro, 2017), afirma que, se debe ser cuidadoso con las propiedades ópticas que son las propiedades de los materiales de dejar pasar la radiación solar y se calcula por medio de la relación de la radiación en el interior y la medida al mismo tiempo en el exterior, a la hora de realizar esta medición es importante el ángulo de incidencia que se tenga en cada una de las estimaciones.

La transmisión de la luz determina la cantidad y calidad de luz que llega al invernadero. Algunos plásticos para mejorar el desempeño y aumentar el rendimiento del cultivo

proveen una transmisión selectiva de la longitud de onda. Por medio de la difusión de la luz se mejora la eficiencia de la fotosíntesis por el incremento en la dispersión de la luz. (Ver figura 1)

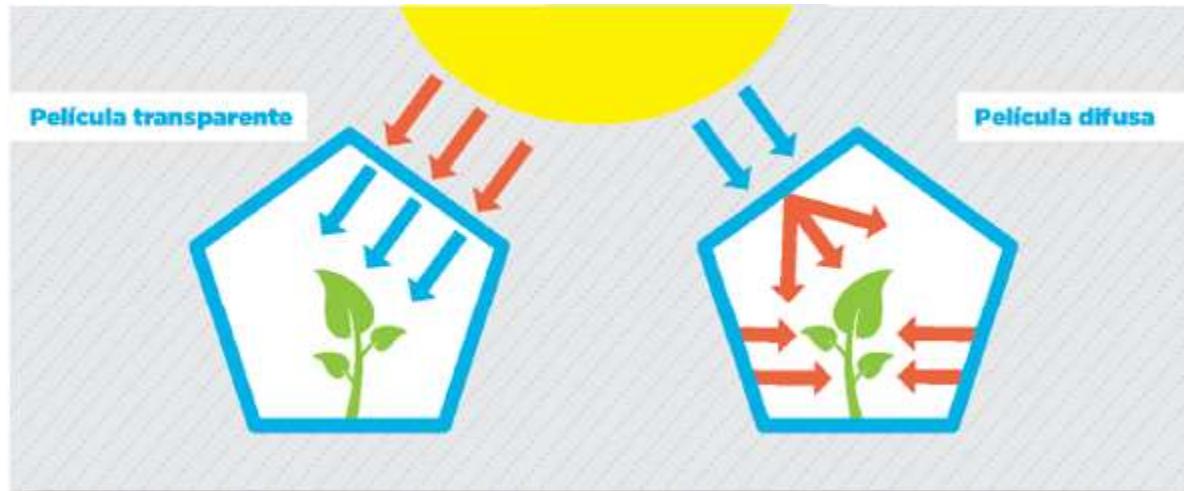


Figura 1. Diferencia entre un plástico transparente y uno difuso

Fuente: (Metaliser, 2012)

- La termicidad es la que determina si lo que se tiene es un invernadero o sólo una protección para la planta, ya que ella impide la pérdida de calor hacia la atmósfera, disminuyendo daños por heladas, estrés por los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche, ahorra costos en calefacción y mantiene los cultivos secos. (Metaliser, 2012)



Figura 2. Comparación entre una película térmica y otra no térmica

Fuente: (*Metaliser, 2012*)

Además de las características mencionadas anteriormente se encuentran las que protegen las plantas de enfermedades virales y fungosas como la *Botrytis cinerea*. Esto se logra usando cubiertas foto selectivas que bloquean ciertas longitudes de onda dentro del espectro ultravioleta (UV 280 -390 nm). (Infoagro, 2017). Al eliminar esta radiación se impide que estos hongos se reproduzcan y disminuyen las posibilidades de una plaga.

Para lograr obtener varios de los beneficios de los plásticos actuales, se realizan combinaciones de diferentes propiedades dependiendo de las exigencias del mercado. Estos plásticos vienen a sustituir los mono capa que han presentado importantes limitaciones tecnológicas. Los filmes multicapa, permiten seleccionar el grado de transmisión de luz visible, cantidad de luz directa o difusa, intensidad del efecto térmico, bloqueo de la radiación UV, efecto anti goteo, repelencia al polvo, entre otros.

El efecto que tiene cada propiedad de las cubiertas en el microclima del invernadero se puede observar en la Figura 3. Además, se puede observar las tres variables que se deben controlar con más rigurosidad para tener un cultivo saludable (luz, temperatura y humedad) y la manera de lograrlo.

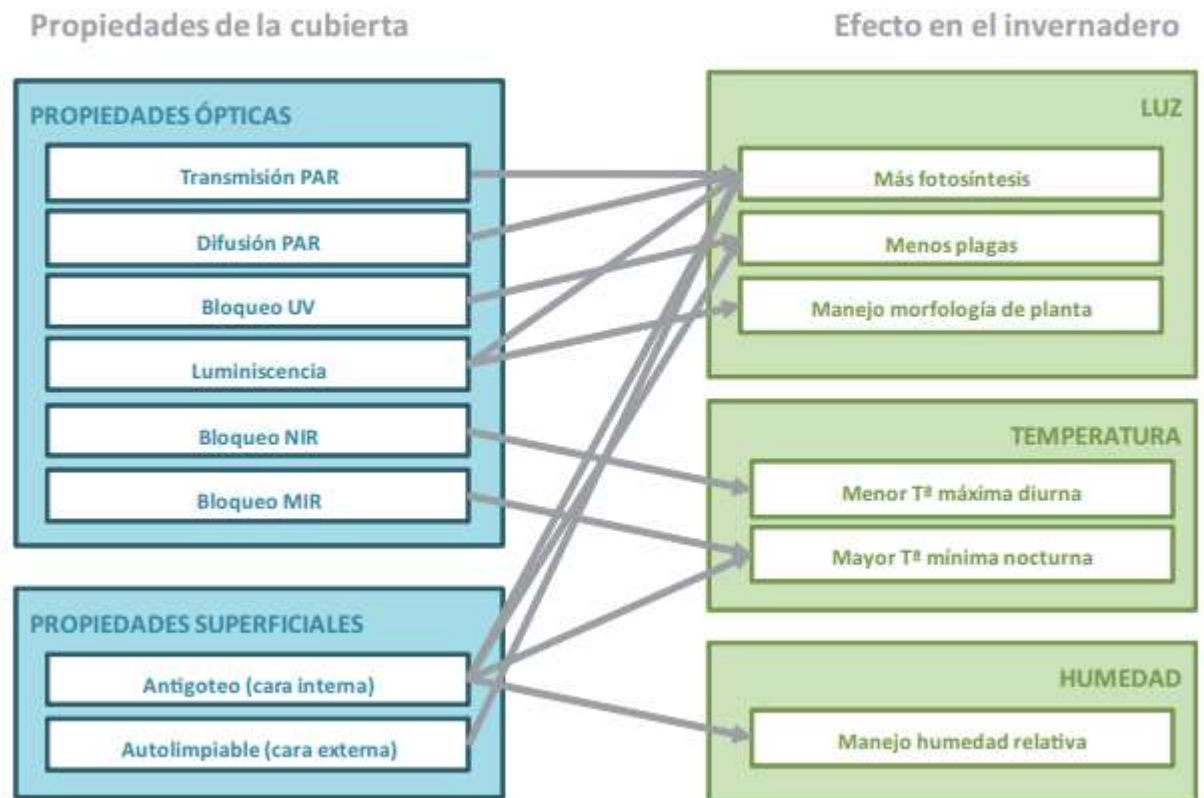


Figura 3. Relación entre las propiedades de la cubierta y el clima del invernadero

Fuente: (Espí, 2012)

Duración de los plásticos de uso agrícola

Según (Espí, 2012), existen varios factores que determinan la vida útil de los filmes, entre ellos tenemos los intrínsecos, externos y utilización.

- Factores intrínsecos: en esta categoría se debe conocer el polímero base (LDPE, LLDPE, EVA), el tipo de plástico si es mono capa o multicapa, el espesor, estabilización y aditivos.
- Factores externos previos a su utilización: condiciones de fabricación, almacenamiento y colocación. Este último componente es muy importante, ya que el plástico puede desaprovechar toda la tecnología con fue creado si no se coloca correctamente.

Posterior a la compra se deben tener cuidados especiales de transporte y almacenamiento, teniendo en cuenta que son superficies fácilmente perforables por lo que se debe limpiar el área de almacenamiento antes de que se lleven ahí las bobinas o rollos de plásticos, quitando cualquier objetos punzante, cortante o duro. Además, se recomienda que éste lugar no esté expuesto a la luz solar, calor y humedad.

A la hora de instalarse no se debe rodar los rollos por el suelo, tener cuidado con alambres expuestos, puntas o astillas. No se debe realizar la colocación en las horas más calurosas del día, ya que es un material que se expande con el calor y no se desea una dilatación excesiva. Un estiramiento excesivo puede disminuir el espesor y la duración del material.

- Factores externos durante su utilización: parte estructural del invernadero, en ella se toma en cuenta diseño, materiales, protección de la superficie, fijación. Además de las condiciones climáticas propias de cada región geográfica como viento, radiación, temperatura, precipitación o nieve. Se debe considerar el cultivo para el que fue diseñada la estructura por sus requerimientos y si se va a agregar peso de cosecha al invernadero, así como el manejo un manejo medido de agroquímicos.

Manejo del plástico de desecho

Lo recomendable es cambiar los plásticos según lo indique la ficha técnica del mismo, ya que posiblemente después de ahí se hallan perdido las propiedades mecánicas, ópticas y aditivos, ello se verá reflejado en el cultivo y la demanda de éstas características específicas. Sin embargo, normalmente los filmes son cambiados hasta que se rompan o posean un deterioro que imposibilite su uso.

Uno de los problemas que presentan este tipo de filmes es su lenta degradación, es por ello que se debe incentivar el uso de plásticos biodegradables. Son hechos a partir de materiales orgánicos como almidón de maíz, papas, caña de azúcar, los cuales pueden ser compostables en un período no mayor a seis meses y usados posteriormente para la fertilización de suelos y plantas. Un ejemplo de ellos es la producción de polietileno de alta y baja densidad con biomas de cultivos como trigo, remolacha y otros en Brasil, incentivado por empresas como Braskem y Toyota Tsusho Corporation. (Stiglich, 2015)

Existen dos procesos por los cuales se pueden reciclar: mecánico y químico. El más utilizado es el mecánico, transformando el residuo en un nuevo material plástico, pero no con las mismas propiedades y calidad, debido a la presencia de partículas de suelo y materia orgánica.

El reciclado químico consiste en la descomposición del material por medio de procesos termoquímicos en moléculas más pequeñas. Pueden usarse para producir nuevos polímeros o sustancias que pueden ser utilizadas en otro lugar como materia prima en la industria química básica. (Espí, 2012).

Cuando los plásticos agrícolas han sufrido degradaciones debido a radiaciones solares que no permiten el reciclado mecánico, se puede considerar como combustible en procesos de combustión controlada. En la India se desarrolla tecnologías comerciales para convertir el polietileno de baja densidad en combustible líquido, para ello rompen las cadenas del polímero calentándolo de 400 a 500 °C. El resultado obtenido es muy parecido a los combustibles petroquímicos convencionales. (Stiglich, 2015).

También existen estudios enfocados en la búsqueda de acelerar la descomposición de los plásticos sintéticos por medio de bacterias, destruyendo toxinas y contaminantes como estireno e hidrocarburos y biodegradarlos en tiempos antes inimaginables.

Mallas

Las mallas anti insectos se usan para bloquear de forma física a portadores de enfermedades o plagas que atenten contra el cultivo, con el fin de minimizar el uso de plaguicidas. Además de impedir el paso de insectos cumple la función de proteger a las plantas que se encuentran dentro de la estructura de poderosas ráfagas de vientos, que pueden causar daños mecánicos en la plantación.

La instalación de estas mallas, tiene la desventaja de afectar la ventilación dentro del invernadero y en algunas ocasiones exceso de humedad. Según las últimas investigaciones el

diámetro del hilo con que se tejen éstas cortinas influye en la resistencia que se ofrece al flujo de aire, también una homogeneidad y gran número de poros. (Valera, 2016).

Para conocer el número de hilos que posee la red se le llama “mesh” y es el número de hilos por centímetro cuadrado. Existe gran variedad de combinaciones, pero el primer dato se refiere a las líneas verticales y el segundo el número de hilos horizontales, ambos por pulgada cuadrada. A mayor mesh, la capacidad de bloquear insectos más pequeños es mayor. Algunos ejemplos de ellos son: 40/25, 50/25.

A la hora de escoger la malla adecuada para la estructura primero se debe estudiar el tipo de insectos que atacan el sembradío, como lo son la mosca blanca, áfido o thrips. Ver Anexo 3.

La vida útil de estas redes es del doble de la de los plásticos, esto quiere decir que normalmente por cada dos cambios de plásticos se cambia una vez las mallas, sin embargo, es importante mantenerlas limpias para que puedan cumplir su función. El período en el que deban lavarse va a depender de la zona en que estén instaladas, por ejemplo, si es un área polvosa, húmeda o desértica su limpieza deberá ser más continua.

Mallas sombra

Es una malla anudada con hilos o cintas de polietileno de alta densidad o polipropileno, algunos con tratamiento especial para los rayos UV. Algunas son foto selectivos o pueden utilizar colorantes con otras funciones o propiedades específicas. (Barquero G. , 2010).

El objetivo del uso de estas redes no es solamente provocar un sombreo en la plantación sino atrapar las longitudes de onda que lo beneficien, la radiación fotosintéticamente activa se encuentra entre los 400 y 700 nm, ésta es absorbida por pigmentos clorofílicos, importante para la expansión foliar. La luz azul está entre los 400 y 500 nm, la roja entre los 600 y 700 nm y rojo lejano entre los 700 y 800 nm. (Tafoya, 2012).

Se pueden encontrar dos clasificaciones a la hora de escoger una malla sombra o sarán: por el color o el porcentaje de luz que permite pasar a través de ella.

Los porcentajes de sombra oscilan entre el 20 y 95%, dependiendo del fabricante y la demanda que se tenga, se fabrica una amplia variedad de tejidos. Esto con el fin de crear un micro clima, que favorezca al cultivo, tanto en época de verano como de invierno. Por ello algunas son colocadas de forma fija y otras móviles.

La gama de colores también es extensa y cada uno de ellos aporta una característica concreta.

La malla roja se caracteriza por cambiar el espectro de luz que llega a las plantas que se encuentran bajo su sombra, disminuyendo el azul, verde y amarillo del espectro solar. Potenciando el espectro rojo y rojo lejano. Promueve el desarrollo vegetativo, floración, mayores tallos y volumen foliar. (Coverttech, 2017).

La red color perla permite el paso directo de la luz y favorece la fotosíntesis debido al proceso de difusión que se logra con ella. Genera tallos secundarios, mejorando el crecimiento y calidad de la planta por el color que refleja.

Las negras son las más usadas por ser menos costosas, sin embargo, sombrean por igual toda la banda del espectro electromagnético, minimizando la fotosíntesis. Por su color ayuda a tener mayores temperaturas dentro de las estructuras.

Las mallas aluminizadas lo que hacen es reflejar la radiación solar, por ello no la absorbe y no emite calor porque se les llaman mallas frías. (Industrias metálicas agrícolas, 2017).

El color verde en las redes proporciona un sombreado mayor que las blancas y menor que las negras, modifica el espectro de manera que las plantas reciben luz que facilita la función clorofílica, aumentando el verde en sus cuerpos. (Jardin day, 2015).

La red azul causa un enanizamiento generalizado de la planta. Además, frena la floración en aromáticas, siendo apropiada para ornamentales de follaje.

El blanco por su naturaleza disminuye la temperatura, por lo que estas mallas se usan en lugares calurosos para refrescar los cultivos y refleja los rayos de luz que la atraviesan ayudando al proceso fotosintético.

Una variable de las mallas de sombreo son las pantallas térmicas, usadas para tener la mayor cantidad de energía en forma de radiación de onda larga y evitar los picos de calor y frío presentes durante todo el año. Pueden estar construidas con filamentos de aluminio acrílico, polímeros de plástico o hilos de poliéster con cintas de polietileno.

Si se posee un cultivo demandante de largas horas luz y se desea ahorrar en iluminación artificial o calefacción se debe pensar en la colocación de una pantalla térmica, así como si se requiere que sea de interior, exterior o enrollable. (Fertri invernaderos, 2018).

Existen las pantallas térmicas abiertas ideales para las zonas tropicales, debido a que permiten el intercambio gaseoso principalmente durante el día, favorece la circulación de aire dentro de la estructura, dejando pasar el aire a través de ellas, impidiendo la condensación y mejorando el micro clima para el cultivo y personas que trabajen dentro. Es importante resaltar que para que la pantalla ayude con el proceso de enfriamiento, el invernadero debe contar con una ventana cenital que evacúe el aire caliente que sube por la pantalla. (Barquero G. , 2010).

Las pantallas térmicas cerradas al contrario de las abiertas se deben usar en lugares donde se quiera aumentar la temperatura, constituidas por láminas de aluminio y entre ellas filamentos plásticos transparentes, esto impide el intercambio gaseoso entre la parte superior e inferior de la estructura. Al instalarlas es importante que, queden solapadas unas con otras para que no halla fuga de calor. (Cervantes, Pantallas térmicas, 2015).

Cobertura para suelo

Se usan para evitar el crecimiento de malezas, la aparición de barro o polvo en el área de paso en pasillos o debajo de las mesas de trabajo. Comercialmente se les conoce como “ground cover” a las coberturas de suelo y “mulch” a los acolchados, se diferencian unas de otras porque, las primeras se usan en interior y las segundas en exteriores, al bloquear el paso de los rayos del sol, las plantas que se encuentren en su interior no pueden realizar el proceso fotosintético y mueren.

La presentación en colores va a depender de la característica o necesidad que requiera el cultivo. Generalmente el negro se usa para aumentar la temperatura dentro del invernadero y evitar el crecimiento de malezas, se puede usar en zonas frías o donde se desee mejorar el desarrollo radicular, el blanco al contrario del negro sirve para reflejar la luz (65%) que puede ser aprovechada por las plantas, además de disminuir la temperatura dentro del invernadero y se recomienda para áreas calientes o donde se quiera aumentar el crecimiento de plantas gracias a la intensificación de fotosíntesis. El gris es un punto intermedio entre el blanco y el negro, refleja luz pero en menor cantidad (27%). Existen combinaciones en acolchados como: gris/negro, blanco/negro o negro/gris. Normalmente el más oscuro se coloca hacia abajo para el control de hierbas indeseadas y el más claro hacia arriba para dar un mejor aprovechamiento de la luz. (Coverttech, 2017).

La ventaja del uso de coberturas y acolchados es que se erradica el crecimiento de malezas en las zonas donde se colocan, se da un mejor aprovechamiento al agua y demás aplicaciones porque se mantiene la humedad, teniendo menos pérdidas por evaporación en el suelo. Se ahorra recursos (tiempo y dinero) destinados para la aplicación de agroquímicos o labores de deshierbas.

Al igual que en los plásticos es recomendable buscar un centro de acopio donde se pueda reciclar el material una vez que haya pasado el período de vida útil para disponer de los desechos generados de una manera responsable.

Materiales para la estructura de los invernaderos

Los materiales más frecuentes usados para la construcción de los invernaderos son: madera, hierro o aluminio. Cada uno va a depender de la disponibilidad del material y del fin que tenga la estructura, por ejemplo: existen los hechos a base de PVC o bambú, pero nos enfocaremos en los más comunes.

Madera

Tienen un aspecto estéticamente muy bello, pero tienen la desventaja de que, por tratarse de un material orgánico, se deben tener muchos cuidados para prolongar al máximo su vida útil, tomando en cuenta que dentro de la estructura se tendrán sistemas de riego que ayudarán a la pudrición o deterioro de la madera. Además, se debe proteger contra las polillas y termitas. (ERP Agrícola, 2017).

Los invernaderos hechos de madera son más usados de manera doméstica, por su fácil construcción y fijación, sin embargo aportan mayor sombra y menor resistencia si no se trata adecuadamente y se eleva bastante los costos. Es un material flexible, pero limita el tipo de diseño, descartando cualquiera que posea arcos.

Tienen la ventaja de no conducir el calor o el frío por lo que en horas calurosas no aporta temperatura a los materiales con los que tiene contacto como el plástico.

Aluminio

Es un material blando y maleable por lo que es muy usado para la fabricación de cables eléctricos y láminas delgadas pero su costo es muy elevado por lo que es raro encontrar un invernadero hecho todo de aluminio. Tiene la ventaja de no corroerse al contacto con el agua por lo que se puede usar en elementos expuestos como canoas y perfiles.

Posee la ventaja de sumar poco peso a la estructura y la facilidad de alearse con otros compuestos para fortalecerse. Es importante resaltar que puede reciclarse en su totalidad y es el tercer elemento más abundante en la naturaleza.

El aluminio a diferencia del hierro no admite tanta carga de trabajo y la otra desventaja que tiene es que se dificultan los puntos de soldadura, porque se deben usar otro tipo de uniones como el atornillado.

Hierro

El hierro en forma natural y pura se caracteriza por ser muy suave y reactivo, por lo que en realidad lo que se comercializa son aleaciones en su mayoría con carbono. Dependiendo del

porcentaje que sea agregado a la mezcla así será la dureza y punto de quiebre del metal, de manera que entre más carbono tenga va a ser más duro y quebradizo el material resultante. (Termiser: Plataformas y andamios, 2017).

El tipo de hierro más usado para estas construcciones es el hierro galvanizado por su larga durabilidad, si se tienen los cuidados que recomienda el fabricante. Tiene una vida útil de 30 a 40 años, posee una alta resistencia al peso por lo que incrementa su uso en estructuras que deben soportar peso adicionado por cosechas como tomate, chile, pepino, entre otros. Normalmente se pinta en puntos que son intervenidos por la soldadura, el precio es alto comparado al no galvanizado por tener un recubrimiento especial y proceso de fabricación. (Marín, 2013).

El acero galvanizado se obtiene gracias al recubrimiento de una película fina de zinc, que protege de la corrosión y oxidación. Esta laminación puede realizarse en frío o en caliente, cuando se hace en frío el producto posee mayor elasticidad y menos imperfecciones, cuando se trabaja la laminación en caliente el hierro se puede trabajar con facilidad y permite confeccionar segmentos de un tamaño mayor. (Jové, 2017).

El robustecimiento del material permite tener mayor espacio entre tubos, por lo que se tendrá menor porcentaje de sombra, facilitando la entrada de luz y por ende el proceso fotosintético.

La resistencia a la tracción de este material, según la norma ASTM A 653/M-03, es de 270 MPa y 37% de alargamiento, lo que lo hace un material apto para la construcción de estructuras que son abatidas por las inclemencias del clima y posee un límite elástico que permite moldearlo según la necesidad. (Metalco, 2012).

Según sea el uso que se le vaya a dar así puede ser la presentación que se recomienda, como por ejemplo, para hacer marcos se suele usar hierro cuadrado para que se transfieran las cargas a tierra en caso de terremotos o vientos fuertes. El redondo o cuadrado se usa para columnas, vigas y elementos en los que es importante la resistencia y fiabilidad. (Alsimet,

2017). El tubo cuadrado o rectangular se une con más facilidad que uno redondo pero el redondo se manipula con mayor facilidad para la formación de arcos o cerchas.

Plagas que afectan los almácigos de café

Se debe tener claro que al cultivo del café lo afectan diferentes tipos de plagas en cada una de las etapas fenológicas, sin embargo, en este documento se enfocarán las más comunes en los almácigos, ya que la estructura será diseñada para este tipo de plantas.

En el cuadro 1, se pueden observar las plagas más comunes en los almácigos con su nombre común de la región de la que fue investigado (Managua) y su respectivo nombre científico y tamaño en caso de ser un insecto. Es importante resaltar que se incluyen las plagas que afectan el follaje y raíz, ya que normalmente estas se consideran cuando las plantas están en desarrollo o cosecha, atraídos por la savia, flor y fruto de la plantación.

Cuadro 1. Plagas que afectan el café

Fuente: (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2007)

Nombre común	Nombre científico	Tamaño (mm)
Plagas del almácigo		
Chupadera	Rhizoctonia sp	
Cercospora	Cercosora coffeicola	
Grillo	Achetea assimilis	28-32
Gusano cortador	Agrotis sp; Spodeptera sp; Feltia sp	17-20
Nemátodos	Meloidogyne sp	
Plagas al follaje		
Roya	Hemileia vastatrix	
Cercopsora	Cercospora coffeicola	
Ojo de gallo	Mycena cirticolor	
Arañero	Corticium koleroga	

Broca	Hypothenemus hampei	
Minador de hoja	Leucoptera coffella	4
Cochinilla harinosa	Planococcus citri	2-4
Plagas de la raíz		
Nemátodos	Meloidogyne sp	
Piojito de raíz	Neorhinelus, coffeae Dysmilacus, bruviges	
Piel negro	Rosselinia sp	

De las anteriores plagas, sólo se considerarán los insectos, ya que son los que pueden ser bloqueados por medios físicos como una malla anti insectos, de acuerdo al tamaño del más pequeño se deberá escoger la cortina que impide su entrada a la estructura, creando un ambiente protegido para la plantación de café.

Estructura para los mini jardines, enraizamiento y desarrollo de las estacas de café

Se sabe que el café es un cultivo proveniente de regiones africanas que evolucionó en el sub -bosque y es por ello que, las primeras plantaciones se desarrollaron bajo sombra para simular su ambiente nativo, sin embargo, con el paso de los años se han desarrollado variedades de café que producen mucho más volumen en sus cosechas, estando expuestas totalmente al sol. Al tenerse menor humedad y sombra se disminuyeron algunas de las enfermedades que afectan normalmente al cultivo.

Por lo anterior es que, invernaderos dónde se tengan los mini jardines de café se recomienda controlar el porcentaje de luminosidad, temperatura y humedad relativa; ya que las plantas madre van a estar sometidas a un estrés de regeneración, que normalmente no se maneja cuando están cultivadas para cosecha. (Ver anexo 4).

Según (DaMatta & Rodríguez, 2007) la transpiración del café se reduce significativamente cuando crece bajo sombra. Esta puede disminuir entre 60 y 84%, si además de la sombra la

plantación cuenta con riego. Los autores recomiendan un porcentaje de sombra entre el 50 y 70%, además de los beneficios asociados a la disminución de la transpiración, la sombra ayuda a aumentar la humedad relativa y bajar la temperatura.

Algunos estudios afirman que la temperatura ambiental óptima para el crecimiento del café debe estar entre los 19 y 21°C, con un límite inferior de 13°C y uno superior de 32°C. (Arcilla, 2011). Por otra parte, se considera que se deberán tener temperaturas entre los 16 y 22°C. (Dep. Agr. Costa Rica, 2006).

Para (Alvarado & Rojas, 2007) el cultivo soporta temperaturas medias anuales entre los 17 a 23°C pero el cultivo tolera temperaturas entre los 13 y 27°C, siendo éstos últimos los límites para no estresar demasiado al cultivo y provocar un cierre estomático.

Otro factor a considerar, para tener plantas saludables es la humedad relativa, al igual que con la temperatura y porcentaje de sombra existen varios criterios. Según (Alvarado & Rojas, 2007), se pueden manejar valores entre el 70 y 95%, teniendo en cuenta que cuando se supera el 90% se expone la plantación al ataque de enfermedades fungosas. Por otro lado, (Cancela, 2012), afirma que el rango de humedad relativa óptimo está entre los 65 y 90%. Y para (Ramírez, 2011), no se deben alcanzar valores de 85%, porque se propiciaría un ambiente fértil para hongos maléficós que afectarán a la plantación.

El producto que se obtiene en la primera etapa de reproducción por medios asexuales y bajo un ambiente protegido, es un esqueje con poca área foliar (1/3) para que la nueva planta no gaste energía y recursos en áreas vanas para el proceso, y que se debe cuidar meticulosamente para que se produzcan brotes de raíces. (Ver Anexo 5) (Murillo, Badilla Valverde , Villalobos , & Rojas Parajeles, 2013).

Para la segunda etapa (enraizamiento de los esquejes) se necesita un invernadero que posea en su interior mini túneles (Ver anexo 5), dónde se van a colocar bandejas de germinación. Este proceso dura aproximadamente 45 días, lo ideal es que sean introducidas en cámaras húmedas dónde la humedad relativa sea superior al 90% y temperaturas entre 35 - 40° C. El

diseño del mini túnel estará en función del área de mojado del sistema de riego por nebulización. El porcentaje de enraizamiento aquí será cerca de un 95%. (Murillo, 2014).

En la etapa final dónde se desarrollan las estacas con raíz, se deben trasplantar a tubetes, bolsas o gifis de almácigo y se llevan a una casa sombra o ambiente protegido dónde se les inhiba de los rayos directos del sol, lluvia y plagas que quieran afectar los tejidos más sensibles como hojas nuevas y raíz.

Orientación del invernadero

El objetivo de orientar correctamente la estructura es lograr un excelente balance térmico al interior. Esta va a depender de varios factores, entre ellos están: velocidad, dirección de los vientos y captar la mayor cantidad de luz solar. (Arnaiz, 2001). Colocando una de las caras más largas perpendicular a la dirección de los vientos y de este a oeste, como se puede observar en la Figura 4.

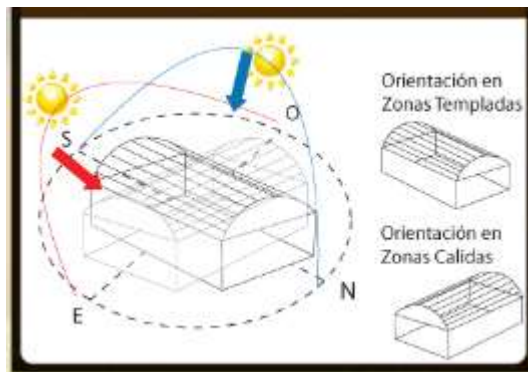


Figura 4. Orientación de un invernadero

Fuente: (Balderrama, 2016)

Como se observa en la Figura 4, la orientación de la casa verde va a depender de la ubicación que tenga en el globo terráqueo, si éste se encontrará en zonas templadas lo ideal es que se encuentre de norte-sur y si por el contrario se encuentra en áreas cálidas o tropicales lo mejor es que se construya con sentido este – oeste. También dependerá del objetivo del cultivo y el requerimiento de luz durante el día, así como la disponibilidad de espacio que se tenga para tal fin.

El terreno dónde se va desarrollar la construcción debe estar nivelado, con una pendiente entre 0,5 y 1%, para facilitar la evacuación de las aguas y que no se influya en el intercambio gaseoso que ocurre dentro de la infraestructura. (Agri - nova, 2017).

Cargas de la estructura

El invernadero debe soportar diferentes tipos de cargas, unas llamadas cargas muertas y otras cargas vivas, dependiendo de lo que sea una constante o variable.

Las cargas muertas presentes dadas por el peso de los materiales de construcción, plástico o material de cubierta, así como materiales estructurales, sea acero, madera o aluminio. Según (Cermeño, 2005), si se trata de una con hierro y plástico flexible se consideran de 4-10 kg/m².

Se consideran cargas vivas aquellas que interfieren de manera ocasional, entre ellas 3 personas que instalen la cubierta o den mantenimiento al techo y canoas, considerando 100 kg por persona. Además, se debe sumar si el cultivo aporta peso o se usa como soporte para plantas como *Capsicum annuum* (chile) o *Solanum lycopersicum* (tomate) que requieren de amarras, adicionando según (National Greenhouse Manufactures Association, 2004) 10 kg/m².

Los sistemas de riego, calefacción o enfriamiento se deben analizar si se encuentran de manera fortuita se consideran cargas vivas, pero si están instaladas y se usan permanente son cargas muertas y según la norma (UNE-En 13031-1, 2002), 7 kg/m². Sin embargo, otros autores consideran que el aporte de estos artefactos puede estar entre los 15 a 50 kg/m². (Cermeño, 2005).

Uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta en el diseño de una estructura como ésta, es la afectación o impacto que provoca el viento, ya que las cubiertas van a estar expuestas a sus azotes. Según normas alemanas, holandesas e italianas se debe considerar un peso de 40 kg/m², correspondientes a la presión que ejerce el viento sobre la estructura. (Cermeño, 2005).

Cimentación

Las cargas experimentadas por el invernadero son transmitidas al suelo, y se les llama cimentaciones superficiales, debido a que se apoyan en las capas poco profundas o superficiales, esto gracias a que es una estructura relativamente liviana.

Existen varios tipos de cimentaciones, clasificadas como cimentaciones ciclópeas, zapatas y losas de cimentación. También hay distintos tipos de zapatas, entre ellas tenemos las aisladas, corridas y combinadas.

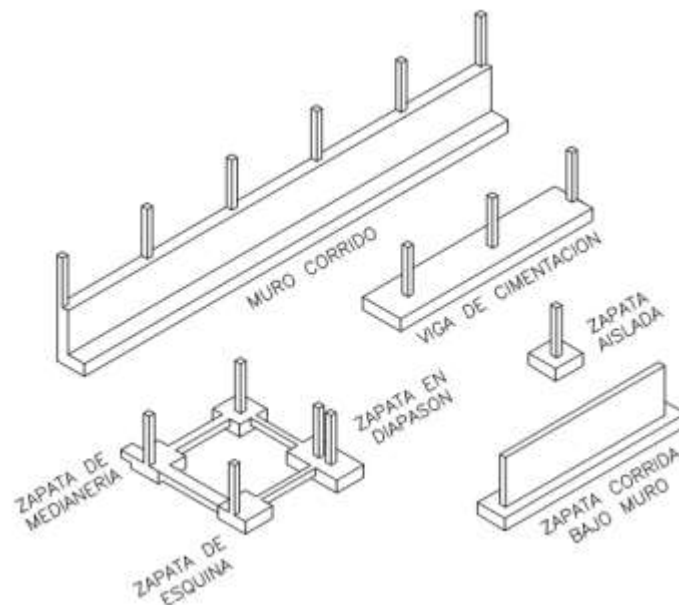


Figura 5. Tipos de zapatas

Fuente: (Montoya & Pinto, 2010)

Como su nombre lo indica, las zapatas aisladas son las que se encuentran separadas unas de otras y son las que se usan en este tipo de construcciones. Soportan un único pilar, se usan cuando el terreno es firme. El plano de apoyo de la zapata debe tener un empotramiento mínimo de 10 cm sobre el estrato del terreno. Conviene llegar a una profundidad mínima de 80 cm debajo de la cota superficial. (Montoya & Pinto, 2010).

Las zapatas continuas se utilizan para cimentar muros o varios pilares juntos, pueden recibir cargas lineales o puntuales separadas y funcionan estructuralmente como una viga

flotante. Pueden tener sección rectangular, escalonada o estrechada cónicamente. Sus dimensiones están en función de las cargas que deban soportar, resistencia a la compresión del material y la presión admisible sobre el terreno. La altura mínima para los cimientos de hormigón es de 30 cm. (Montoya & Pinto, 2010).

Mientras que las zapatas combinadas sirven como elemento de cimentación para dos o más pilares o cuando se deben superponer zapatas con muros y requiere soportar más de una carga sobre una misma base.

Otros autores recomiendan una zapata aislada de 10 a 20 cm de espesor hecho con hormigón, antes de colocar el tubo, como se muestra en la siguiente figura. Y la profundidad recomendada para la cimentación sin sumar el aspecto anteriormente mencionado, debe ser entre 60 a 70 cm. (Baudoin, Sin año).

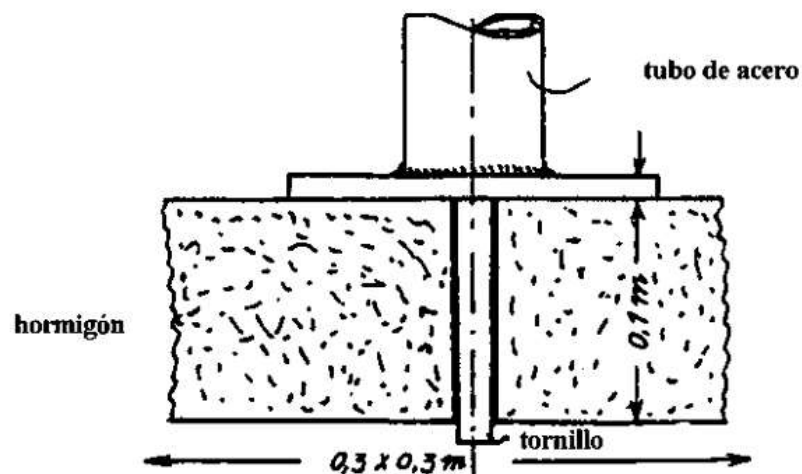


Figura 6. Cimentación de tubo de acero en zapata de hormigón

Fuente: (Baudoin, Sin año)

Resistencia del concreto

Según el (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2002), en el artículo 8.1.2, especifica que la resistencia mínima para el concreto en compresión debe ser de 210 kg/cm². Por ello se recomienda utilizar esta resistencia para el relleno de los hoyos donde se colocarán los tubos verticales que soportarán el peso de la estructura.

Proporción por volumen utilizando cajones de madera.			Proporción por volumen utilizando cubetas de 5 galones.			Resistencia probable a la compresión a la edad de 28 días.	
Cemento	Arena	Piedra	Cemento	Arena	Piedra	kg/cm ²	lb/pulg ²
1	2,5	4,0	1	3,5	5,5	175	2500
1	2,5	3,5	1	3,5	5,0	210	3000
1	2,0	3,0	1	3,0	4,5	245	3500
1	2,0	2,5	1	3,0	3,5	280	4000
1	2,0	2,0	1	3,0	3,0	315	4500
1	1,5	2,0	1	2,0	3,0	350	5000

Figura 7. Proporciones usuales para obtener un metro cúbico de concreto

Fuente: (Araya, 2017)

Ventilación dentro de la estructura

Es uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta en el diseño de un invernadero, ya que por medio de ella se regula la temperatura, humedad y niveles de Dióxido de Carbono, dentro de la estructura. La regulación de este gas es importante para las plantas que se encuentren dentro del invernadero, debido a que en el día ellas lo necesitan para realizar la fotosíntesis y en las noches lo producen por su respiración, es por ello que, en algunos casos se captura el CO₂ en horas nocturnas para que la plantación tenga suficiente al día siguiente. (Hydro environment, 2018).

Se recomienda un número de renovaciones de aire por hora entre 45 y 60, dependiendo de la diferencia que se desea entre la temperatura interna y externa del invernadero. Se dice que con 45 renovaciones por hora se obtienen entre 5,5 y 6,5°C por encima de la temperatura fuera de la estructura, mientras que con unas 65 renovaciones por hora se consiguen 4,5 y 5,5°C por encima de la temperatura exterior. (Soler y Palau, 2018).

La entrada de masas de aire frío o cálido, según se necesite, se puede obtener gracias a la instalación de ventanas cenitales, paredes con coberturas permeables, cortinas corredizas, puertas, entre otros.

La instalación de ventanas cenitales es de gran importancia, aunque no se cuente con velocidades de viento que faciliten las renovaciones de aire, ya que las masas de aire caliente tienden a subir, provocando un efecto chimenea que enfría gracias a la entrada de aire frío por los laterales.

Existen dos tipos de ventilación: la mecánica y la natural. En la primera se requiere la instalación de equipos que impulsen o extraigan el aire, se debe tener en cuenta para evitar deshidratación en la plantación, manejar velocidades bajas de los aparatos, además de colocar resguardos que protejan a los trabajadores en caso de un desprendimiento o desajuste del equipo. Se debe tomar en cuenta el consumo energético que los extractores o ventiladores van a generar, por lo que se debe analizar minuciosamente la necesidad de su instalación, así como el diseño para que se realicen una correcta ventilación sin producir sobre presiones o efectos adversos en las plantas. Para ellos existen ecuaciones que ayudan a calcular el número de equipos necesarios para evacuar las masas de aire no deseadas dentro de la estructura, como la que se presenta a continuación.

$$Q = \text{volumen del invernadero} * N$$

Ecuación 1. Cálculo del caudal de aire dentro del invernadero

Dónde

Q: caudal total (m³/h)

N: número de renovaciones de aire por hora que se desean

Posteriormente se procede con el cálculo del número de ventiladores

$$Y = Q / q$$

Ecuación 2. Calculo del número de ventiladores

Dónde:

Y: número de ventiladores

Q: caudal total (m^3/h)

q: caudal del ventilador que se desea colocar (m^3/h)

Como se muestra en la figura 6, para producir un flujo de los gases o aires dentro de la estructura se deben colocar los equipos en lados opuestos, el ventilador y el extractor para que la corriente fluya entre ellos. Dependiendo del caudal que maneje cada ventilador se recomienda un distanciamiento general entre 7 y 10 metros entre uno y otro, para asegurar una uniformidad en el flujo del aire, sin embargo, no existe una misma manera de su colocación, ya que esta va a depender de las exigencias de cada cultivo, características de la zona y tipo de equipo que se va a instalar.

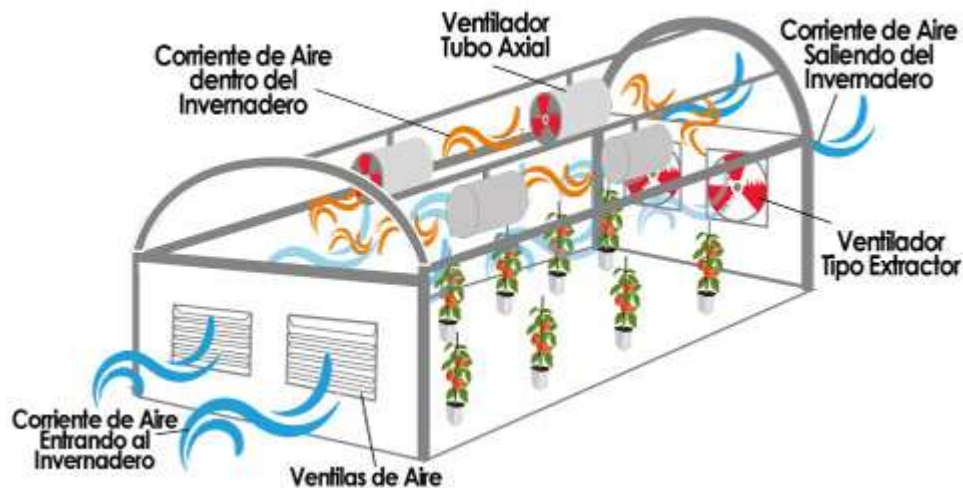


Figura 8. Colocación de equipos para ventilación mecánica o forzada

Fuente: (Hydro environment, 2018)

En la Figura 8, se puede observar como las corrientes de aire caliente se direccionan hacia una salida en la parte trasera, esto porque en el diseño de la estructura no se cuenta con una ventana cenital que pudiera evacuar estas masas de aire caliente.

La ventilación mecánica puede ser seca como en el caso anterior o puede ser húmeda, en este último caso, se colocan paneles que humedezcan el aire que entra, usando un sistema por depresión o sobrepresión, según se desee. El uso de este tipo de ventilación se realiza cuando se desea modificar la temperatura, humedad y arrastre de gases, renovando el aire en su interior.



Figura 9. Ventilación mecánica húmeda

Fuente: (Soler y Palau, 2018)

La ventilación natural o pasiva hace uso de entradas de aire facilitadas por medio de materiales permeables que permiten el ingreso de este fluido. Tiene la ventaja de no necesitar de fuentes de energía, pero esto crea una dependencia de las condiciones meteorológicas.

Según (Ponce, 2013), la ventilación pasiva trabaja gracias a dos principios fundamentales:

- Flotabilidad térmica: el aire frío es más denso que el aire caliente, por lo tanto el caliente sube y es expulsado por la ventana cenital.
- Efecto del viento: el viento fuera sopla creando diferencias de presión entre la parte externa e interna del invernadero, favoreciendo la salida del aire caliente que está dentro de la estructura, por lo que no se puede usar cuando las velocidades del viento son débiles.

Se dice que entre las ventanas laterales y cenitales se debe cubrir un 22 a 30% de la superficie total de invernadero, para obtener un efecto positivo en cuanto a ventilación. (Cervantes, 2015).

La apertura de estas zonas por las que va a entrar aire, puede ser fija o móvil, o sea que se abren y cierran según las condiciones o necesidades del cultivo, además de manuales o impulsadas mecánicamente.

A diferencia de la ventilación forzada, en esta no se puede tener certeza de la cantidad de renovaciones de aire que se logran por hora, debido a la dependencia de las condiciones ventosas de cada zona. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la limpieza de los materiales permeables o mallas anti insectos, para facilitar la entrada y salida de aire, ya que si se lograran quitar estas mallas la ventilación aumentaría hasta un 65%, pero hay que tener en cuenta que, para algunos cultivos y épocas específicas del año, esto sería muy arriesgado por el brote o afectación de insectos que portan enfermedades o que se alimentarían de la plantación.

Si se cuenta con ventanas laterales que cubren el porcentaje recomendado para una correcta ventilación, la altura de la ventana cenital puede ser de 1 m, ya que se ha demostrado que esta apertura provoca renovaciones hasta ocho veces más efectiva que las situadas lateralmente. De la misma manera, la instalación de ventanas cenitales se hace necesaria en estructuras con más de 20 m de anchura. (Cervantes, Fitosofia, 2015).

La orientación de las ventanas se recomienda a barlovento (dirección donde viene el viento), para conseguir entre un 35 a 60% más de circulación de aire. (Hydro enviroment, 2018). Sin embargo, los últimos estudios demuestran que colocar al menos la primera ventana hacia el exterior aprovecha los cambios de dirección del viento. (Cervantes, Fitosofia, 2015).

Otros aspectos importantes para (Cervantes, Fitosofia, 2015), a tomar en cuenta para mejorar la ventilación y disminuir la temperatura son:

- Mayor altura de la estructura: con el aumento de la altura se logra por sí solo reducir algunos grados a lo interno del invernadero. Para determinar la altura ideal, es preciso realizar un análisis del área dónde se va a construir, pero a la altura de la canoa mínimo deben haber 3 m.
- Colocar ángulos suaves y no muy pronunciados en las cubiertas de los invernaderos.

En otros casos, pero menos comunes en el trópico es el uso de calefacción, se debe realizar acciones contrarias a las mencionadas anteriormente. Esto si no se tienen temperaturas dentro de los rangos óptimos para el desarrollo del cultivo.

Tipos de cercha

Existe gran variedad en cuanto a tipos de cercha, éstos dependen del diseño del invernadero que se elija y los materiales disponibles para la construcción. Además de un análisis estructural que muestre que el diseño escogido es el que ajusta a las variables que se tienen.

En los invernaderos tipo capilla se debe formar un ángulo superior en el techo con respecto a la horizontal entre 25 y 26 grados de inclinación, para poseer una evacuación rápida del agua y evitar que ésta forme bolsas en la cubierta. Posee la ventaja de tener una buena ventilación, debido a que la ventana cenital permanece abierta. Tienen la desventaja de que se deben colocar gran cantidad de postes, que dificultan las labores dentro del invernadero y disminuye el área disponible para la siembra. (Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar, 2004).

Cada empresa o diseñador de estructuras para uso agrícola cuentan con su propio estilo de cercha, o idealmente se diseña según las necesidades del cultivo que se vaya a implantar dentro del invernadero, de su ubicación (techo plano o curvo). Sin embargo, se deben seguir los lineamientos de diseño que se han descrito anteriormente.

El número de ventanas que se van a tener también es un aspecto importante a considerar, además de su diseño. Como se puede observar en la siguiente figura, el cenit puede colocarse de diferentes maneras y si se desea que sean fijas o móviles.

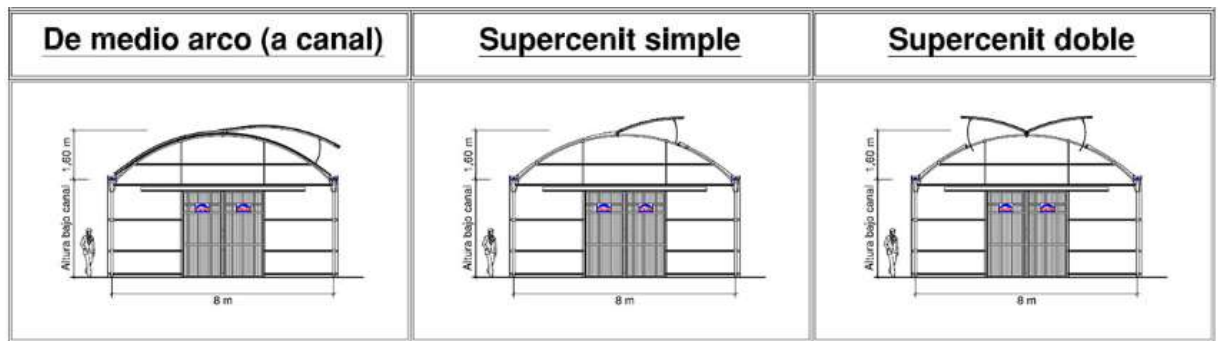


Figura 10. Tipos de ventanas cenitales en techos curvos.

Fuente: (Ininsa, 2010)

Como se puede observar en la Figura 9, las ventanas son móviles, ya que se abren y cierran según las condiciones meteorológicas y necesidades del cultivo. Las que se nombran como supercentit simple y doble puede construirse de manera que queden fijas. La inclinación que se tenga en la apertura dependerá en gran medida de la dirección y porcentaje de viento que se desee capturar.

Según (Ininsa, 2010), si se desea abrir el 30% del techo se debe elegir un modelo con supercentit simple, para obtener una apertura del 45% se lograría con un supercentit doble. Estas aberturas pueden realizarse de forma manual o mecanizada y automatizada, dependiendo del presupuesto que se tenga.

A continuación, se puede observar una cercha con ventana cenital fija, instalada en un invernadero con un techo gótico especial para países con climas tropicales, caracterizados por sus altas temperaturas y humedades relativas.

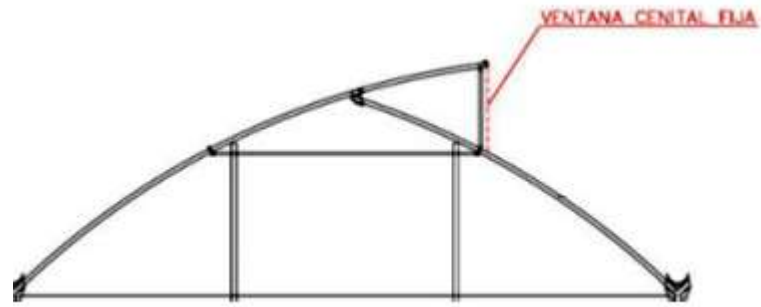


Figura 11. Cercha con ventana cenital fija, techo gótico tropical

Fuente: (Ininsa, 2010)

De la figura anterior es importante notar los refuerzos que tiene cada uno de los arcos para conservar su ángulo, además de la ubicada transversalmente para ayudar a conservar la apertura del arco y contrarrestar la fuerza ejercida por los vientos en la estructura.

A la hora de escoger el tipo de cercha se debe tener en cuenta la incidencia de los rayos del sol al medio día, para que el diseño escogido pueda aprovechar la radiación solar tanto en verano como en invierno, en la siguiente figura se muestra un estilo que ha sido creado para las zonas del trópico, obteniendo los beneficios citados anteriormente.

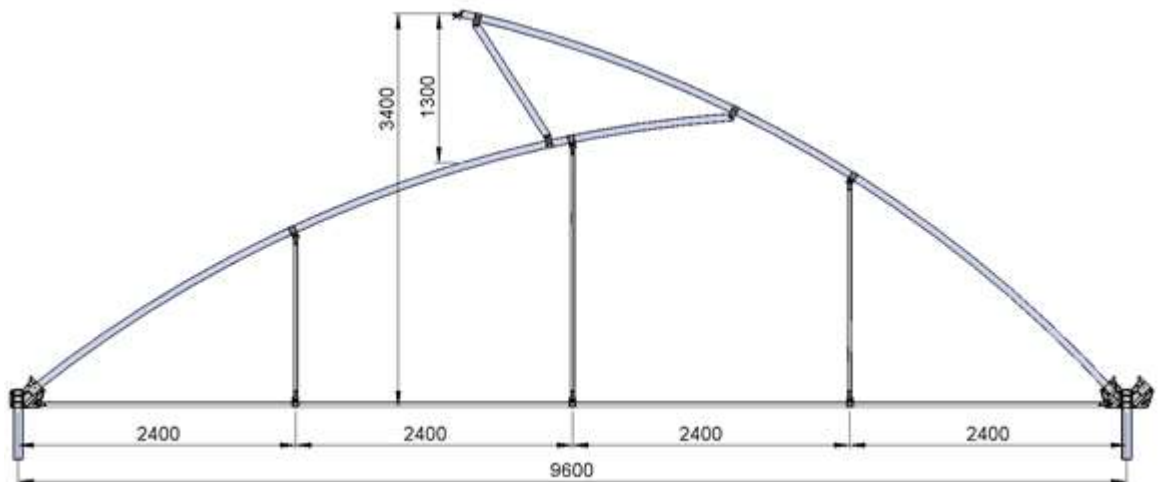


Figura 12. Cercha con ventana cenital fija en invernadero asimétrico

Fuente: (Prados, 2007)

El diseño mostrado en la Figura 11, tiene la ventaja de tener buena ventilación, debido a la presencia de la ventana cenital fija y gran altura, por su gran volumen unitario. A este diseño se le llama asimétrico por ser diferentes los dos arcos, los tres soportes son colocados equidistantes entre ellos para obtener una distribución de las cargas más equitativamente.

El volumen unitario es un parámetro de suma importancia para tener la certeza de que la estructura a construir, contará con una buena ventilación. Este se define como el cociente entre el volumen del interior del invernadero (m^3) y la superficie cubierta por el mismo (m^2). (Prados, 2007) El valor resultante de esta relación debe ser estrictamente mayor a 3. (Zúñiga, 2014)

Pies derechos

Al igual que otros factores importantes a escoger, son las distancias longitudinales entre los pies derechos, ya que ellos serán los encargados de transmitir las fuerzas que se tengan hacia el suelo. Esto va a depender en gran medida del material que sea escogido para la construcción, porque hay unos que poseen mayores resistencias que otros, pero además dependerá del diseño del invernadero.

Los invernaderos tipo parral suelen tener pendientes entre el 15 y 20% en su cubierta, los pies derechos suelen tener una separación de 2 metros en sentido longitudinal y 4 metros en dirección transversal, aunque pueden usarse 2x2 y 3x4. Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia afuera de aproximadamente 30° con respecto a la vertical. (Infoagro, 2017).

El tipo asimétrico, utiliza separaciones muy similares a las usadas en el tipo parral, las variaciones que se realicen tanto en este como en otros ejemplares dependerá en gran medida de la altura y diseño propio de cada estructura. (Infoagro, 2017).

Los túneles por su diseño poseen distancias entre bandas laterales entre 2,5 a 4 m, sin embargo, pueden usarse en los tubos interiores separaciones de 5x8 o 3x5. (Infoagro, 2017).

Para los invernaderos tipo capilla existen cuadros, como el que se presenta en la figura 11, dónde se sugieren algunas distancias entre pies derechos según la pendiente que adopte el techo.

Pendiente %	Altura de pies derechos		Separación entre pies derechos (m)	Anchura de la nave (m)
	Cumbrera (m)	Paredes laterales (m)		
10	3,10	2,50	3	12
10	3,30	2,50	4	16
10	3,50	2,50	5	20
15	3,40	2,50	3	12
15	3,70	2,50	4	16
15	4,00	2,50	5	20
20	3,70	2,50	3	12
20	4,10	2,50	4	16
20	4,50	2,50	5	20
25	3,80	2,30	3	12
25	3,90	2,40	3	12
25	4,00	2,50	3	12
25	4,10	2,60	3	12
25	4,20	2,70	3	12
25	4,30	2,30	4	16

Cuadro 2. Dimensiones de invernaderos tipo capilla en función de la pendiente y distancia entre pies derechos

Fuente: (Serrano, 2005)

Metodología

La metodología empleada para desarrollar el proyecto se detalla a continuación:

Ubicación del área de estudio

Con la ayuda de Google Earth Pro, se realizó una pequeña inspección de los alrededores que limitan con el área. Además de una estimación de la superficie disponible para construir el invernadero.

Objetivo 1

Las actividades a realizar de acuerdo al objetivo 1, son las siguientes:

Levantamiento topográfico y nivelación

Para llevar a cabo el levantamiento topográfico se utilizó una estación total marca Gowin modelo TKS-202, prisma, cinta métrica, brújula y libreta para anotar los datos obtenidos.

Una vez recopilados los datos se procedió a su procesamiento por medio de herramientas digitales como Surfer 15, Qgis 2.18.12 y AutoCAD 2017. Con ellas se obtuvieron las curvas de nivel, área, perímetro y diferencias de altura dentro de la finca necesarias para el posterior diseño.

Luego de analizar los datos obtenidos en el levantamiento, se procedió a realizar la nivelación teórica del terreno con las pendientes deseadas.

Antes de iniciar con el desarrollo del diseño fue necesario llevar a cabo una revisión de literatura, para conocer aspectos relevantes que influyen en la toma de decisiones del mismo.

Investigación del cultivo

Se realizó una investigación en la que se indicó, cuáles son las condiciones que favorecen este tipo de cultivo y el propósito del proyecto, que es la reproducción por medio de esquejes. Entre ellas es importante destacar la temperatura, luminosidad, humedad relativa.

Tipo de invernadero y cercha

Se seleccionó la estructura que proporciona las condiciones idóneas para la plantación que se desarrollará dentro de él. Tomando en cuenta la zona dónde estará ubicado, parámetros importantes para el cultivo y diseño.

Elección de materiales

Malla

Se debe seleccionar la malla que ayude a bloquear los insectos considerados como una plaga para la plantación, la escogencia se realiza con base al número de huecos por pulgada cuadrada, conocido como “mesh”, que impida el paso de plagas y ayuden con un mayor número de renovaciones de aire dentro de la estructura.

Cubierta

El material que se va a colocar para cubrir la estructura debe cumplir con los estándares de calidad necesarios para proporcionar las condiciones de luminosidad y temperatura, aptas para el cultivo.

Pantalla de sombreo

Se elige de acuerdo al porcentaje de sombra que se debe tener para que la planta se desarrolle de la mejor manera. Esta influirá tanto en la temperatura como en el proceso de la fotosíntesis.

Cobertor de suelo

El material que cubra el suelo influye en el control de temperatura y erosión dentro del invernadero por lo que se debe escoger de acuerdo a la temperatura deseada dentro de él.

Disponibilidad de materiales

El diseño, va a estar en función de los materiales disponibles en el mercado, esto para abaratar costos y hacer más accesible la obra. Esto sin bajar la calidad que los materiales deben tener para que la vida útil del proyecto sea lo más larga posible.

Dimensiones

La disponibilidad y longitudes de los materiales serán un elemento clave a la hora de determinar las dimensiones que poseerá el invernadero. Esto para apresurar la instalación y construcción, ya que si se tienen en el país los materiales este proceso se agilizará. Además de una adecuada ventilación dada por el valor del volumen unitario.

$$\text{Vol. unitario} = \frac{\text{Vol interno}}{\text{Sup. suelo}}$$

Ecuación 3. Cálculo del volumen unitario

Dónde

Vol. unitario: volumen unitario (m)

Vol. interno: volumen interno del invernadero (m³)

Sup. suelo: área del invernadero (m²)

Condiciones climáticas

Uno de los aspectos determinantes a la hora de desarrollar un diseño de una estructura que proteja el cultivo, son las condiciones climáticas de la zona dónde va a estar ubicado. Factores como el viento, precipitación, sequía entre otros deben valorarse para escoger el tipo de invernadero que se vaya a instalar. Por lo que se analizaron cuidadosamente hasta determinar, si alguno de éstos significa un peligro para la misma se tomarán medidas para mitigarlo y disminuir el riesgo de fallo de la estructura.

Una vez recopilados los datos necesarios se realizó el diseño en función de las tres condiciones anteriormente mencionadas, se determinaron los materiales que se involucran en el diseño y se hicieron las cotizaciones pertinentes.

El diseño a realizar es para la etapa de mini jardines y enraizamiento en mini túneles, en la reproducción del cultivo del café, ya que los otros procesos se desarrollan fuera de la empresa.

Diseño de la canoa

Una vez elegidas las dimensiones y tipo de invernadero, se puede determinar el área de influencia que tendrán las canoas. Además, se debe realizar un análisis de las precipitaciones en la región y determinar el mayor caudal que deben evacuar. Los datos necesarios para realizar el diseño de la estructura hidráulica fueron proporcionados por el Instituto Meteorológico de Costa Rica de las estaciones automáticas del Aeropuerto Juan Santa María y Fabio Baudrit, siendo las más cercanas a la zona en estudio.

El área de influencia para cada canoa está determinada por las dimensiones de cada uno de los arcos de la cercha seleccionada. Para conocer el caudal que se debe evacuar por ellas, se utilizó el método racional con la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Ecuación 4. Cálculo de caudal con el método racional

Dónde

Q: caudal (m³/s)

C: coeficiente de escorrentía

A: área de la cuenca (ha)

I: intensidad de la lluvia de diseño (mm/h)

Una vez calculado el caudal que se va a transportar por la canoa se procede al cálculo del área que podrá evacuar esa precipitación sin problema. Esto se realizó con ayuda del programa Hydralm, un software disponible para dispositivos Android que permite el cálculo de estructuras hidráulicas.

Objetivo 2

Las actividades a realizar de acuerdo al objetivo 2, son las siguientes:

Investigación para valorar la posibilidad de importar el invernadero

Uno de los factores determinantes a la hora de importar una estructura de esta magnitud son las garantías que ofrecen las empresas importadoras, así como la calidad de los materiales metálicos rápida instalación por tratarse de modelos pre fabricados, usando sistemas de unión con tornillos y no soldadas. Es por ello que fue importante realizar una investigación en la que, se analizó cada uno de esos aspectos, además de la respuesta en caso de rotura, cambio y mantenimiento de la misma.

Análisis económico

Se debió obtener los valores de inversión inicial, flujo de caja, valor residual, horizonte de planeamiento, VAN y el TIR para cada diseño.

Además, se realizó un estudio de factibilidad económica para conocer las ventajas y desventajas que se desarrollarán al comprar la estructura a una entidad extranjera o fabricar cada una de las piezas necesarias para el diseño, comparándolos entre sí y se realizó la recomendación técnica para que la empresa tome la mejor decisión.

Análisis social y ambiental

El análisis ambiental se realizó por medio de la matriz de Arboleda, siendo éste un método de valoración cualitativa, el cual requiere aplicar inicialmente el procedimiento para identificar los impactos, cuyo resultado es una lista de consecuencias negativas o positivas que se presentan durante el desarrollo del proyecto o durante su vida útil, que deben ser evaluados individualmente para determinar su significancia por medio de la calificación ambiental. A partir de ella se toman las medidas de mitigación respectivas.

El análisis social se debe realizar una vez que se cuente con la logística para la construcción del invernadero, esto para cuantificar el impacto social que provocará en los vecinos y allegados a la zona por medio de la generación de empleo.

Resultados y discusión

La ubicación de la empresa donde se realiza el proyecto se muestra a continuación, en el recuadro rojo, se muestra el área disponible para la construcción del invernadero destinado a la reproducción de café por medio de esquejes, midiendo aproximadamente 700 metros cuadrados. Limitando en su parte norte con una hilera de árboles de mandarina, al sur con un árbol de higuerón, al este con una cerca viva y de frente con el camino interno de la finca.



- **Topografía y nivelación**

Se cuenta con un terreno irregular, lo cual obliga a realizar una nivelación que provea una pendiente norte – sur del 0% y de este a oeste del 1%. Esto para encausar las aguas para la parte de atrás.

El área se redujo considerablemente debido a la gran erosión que se ha observado con las primeras precipitaciones al iniciarse la época lluviosa y a la poca o nula acción para detener la escorrentía superficial que deja al descubierto múltiples pedestales. Decidiendo no talar el árbol de higuerón que limita entre el área plana y la más empinada al final de la finca.

En el Anexo 8, se puede observar las relaciones de corte y relleno que se deben realizar para que el terreno cuente con la pendiente deseada.

El total de corte es de 300,82 m³ y el total a rellenar es de 220,35 m³, tomando en cuenta que en el proceso de relleno se pierde material y este se debe ir compactando, no se tendrá tierra sobrante.

La compactación se realiza colocando pequeñas capas de tierra y por medio de maquinaria pesada se aplana hasta que se forma una capa suficientemente fuerte para que soporte una estructura sin producir hundimientos.

- **Tipo de invernadero y cercha**

El tipo de invernadero que se ajusta a las necesidades de luminosidad, humedad relativa y temperatura en la etapa de mini jardines. Además de la ubicación y presupuesto es el tipo capilla con ventana cenital fija a lo largo de éste. Favorece la ventilación y controlar las altas temperaturas características de la zona principalmente en la época seca. Además de poseer una canoa que facilite la evacuación y dirección de las aguas en tiempos de lluvia.

Este tipo de estructura posee la ventaja de refrescar el ambiente por medio de su ventana cenital de un metro de alto y paredes de 3,5 m, por lo que los mini jardines se mantendrán a la temperatura recomendada a menos de 26°C. (Ver Anexo 7).

La cercha se adecua a las recomendaciones de diseño mencionadas en la revisión bibliográfica, teniendo 2,5 m de alto en la parte más alta de la cercha favoreciendo las renovaciones de aire aptas para el cultivo.

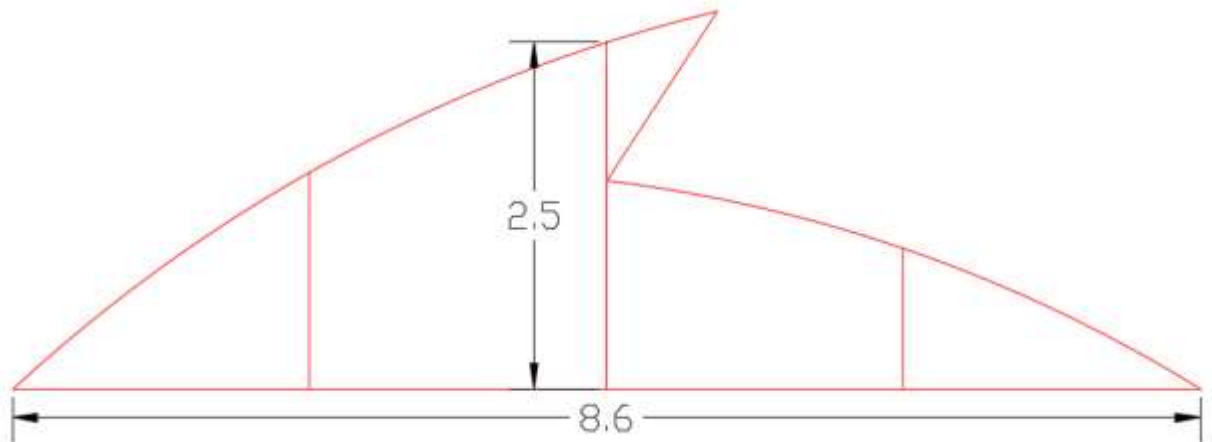


Figura 13. Tipo de cercha para invernadero para café

Fuente: Elaborado en Autocad 2017, por la autora

El ancho es de 8,6 m siendo el máximo disponible para dar un mejor aprovechamiento al área, tomando en cuenta que se tiene 26 m de ancho y 30 m de largo. Posee una altura de 2,5 m hasta la cumbrera superior (arriba de la ventana cenital). Entre cada barra existe una distancia de 2,15 m colocados todos de manera equidistante. El ángulo que posee el desarrollo de los arcos es de 25° con respecto a la horizontal.

La distribución de camas a lo interno de la estructura se puede observar en el Anexo 9, teniendo un total de 4 camas por nave, con una longitud de 28 m y un ancho de 1,3 m. Para un total de 436,8 m² disponibles para la colocación de tarros.

En la empresa se colocan aproximadamente 62 potes por m² y en cada tarro hay de 3 a 4 plantas, dependiendo de la variedad. Destinando 3 camas para variedades híbridas que ocupan 3 plantas por pote y 9 camas para el resto de las variedades que ocupan 4 plantas por maceta, se tendrán 72192 plantas en el invernadero, utilizando la distribución propuesta y destinando la estructura existente para la instalación de túneles que albergarán los esquejes producidos en los mini jardines.

- **Elección de la malla**

Dado que una de las plagas que afectan al cultivo del café son los thrips, los cuales tienen un diámetro promedio de 0,28 mm, el mesh escogido para la malla anti insectos es la de 50, ya que esta posee 50 líneas horizontales y 25 verticales que forman agujeros de aproximadamente 0,20 mm. Ver Anexo 3 y 10.

- **Elección de cubierta**

El material de cubierta elegido es un plástico pentacapa que posee un bloqueo de los rayos ultra violeta, reduce la acumulación de polvo gracias a su tecnología auto lavable, anti goteo, con una transmisión de 89% y un porcentaje de difusión de la luz del 25%.

- **Elección de pantalla de sombreo**

Debido a las largas horas luz que se tienen y a los requerimientos de sombra en el cultivo, se determina la importancia de la colocación de una pantalla térmica que brinde entre 50 – 70% de sombra.

La malla escogida es una malla termo reflectora Aluminet, con un porcentaje sombra del 50%, gracias a su color y estructura refleja la luz que pasa a través de ella, favoreciendo la fotosíntesis, pero al mismo tiempo brindando la sombra y frescura que el cultivo necesita. La misma debe colocarse por dentro de la estructura, ya que si se coloca encima del plástico le restará los beneficios que posee el plástico y la malla.

- **Cobertor de suelo**

La selección del cobertor de suelo se basó en el objetivo primordial a hora de diseñar la estructura y éste es bajar la temperatura que en días soleados superan los 30°. En base a lo anterior, se decide colocar un cobertor blanco que ayude al descenso en la temperatura y disminución de la erosión.

- **Disponibilidad de materiales**

En el país se encuentra la totalidad de materiales a utilizar para construcción del invernadero, por ello pequeñas empresas han surgido al brindar estructuras diseñadas y

construidas en su totalidad en el territorio nacional, a ventajándose ante empresas que importan las estructuras diseñadas para condiciones climáticas totalmente diversas a la región tropical dónde se encuentra Costa Rica. Un ejemplo de ello es el diseño de canoas creadas para otras latitudes donde la época lluviosa dura de 3 a 4 meses mientras que el país es de 8 a 10 meses, duplicando su uso y deterioro.

Algunos de los materiales que se usan para la construcción del invernadero son importados por casas comerciales que los fabrican en el exterior, pero por su gran demanda cuentan con material suficiente en bodegas para la compra de grandes cantidades, evitando la espera en caso de tener que esperar su importación.

La mano de obra necesaria para la creación de cerchas debe ser calificada, ya que es uno de los detalles más importantes en este tipo de invernaderos. Esta debe contar con un ángulo entre 25 y 30°C para formar el arco correctamente. Al igual para la instalación de plásticos, es un trabajo que se debe realizar meticulosamente para no comprometer la vida útil de los mismos.

- Dimensiones de las naves del invernadero

Como se mencionó en la sección dónde se escoge el tipo de invernadero, el área disponible para la construcción es de 26 m de ancho por 30 m de largo. Con ello y en búsqueda de los materiales a utilizar, se decide hacer 3 naves de 8,6 m de ancho por 30 m de largo.

La totalidad de la estructura a construir utilizará tubos en hierro galvanizado y las medidas regulares que éste posee tanto cuadrados como redondos vienen con una medida estándar de 6 m de largo, para dar un mayor aprovechamiento del material los pies derechos serán colocados cada 3 m como se recomienda en el Cuadro 2. La altura a la canoa será a los 3,5 m. Obteniendo un volumen unitario con ayuda de la Ecuación 3, de 4,5 mucho mayor al recomendado para

El invernadero tendrá una antesala de 2 x 2 m, para controlar el ingreso a la estructura y al mismo tiempo evitar que ésta se convierta en bodega o algún otro fin. La misma llevará 0,10 m de grosor, reforzada con malla electro soldada.

- **Cimentaciones**

Según la recomendación escrita en la revisión bibliográfica y la importancia que tiene que los hoyos de cimentación sean firmes y puedan soportar las cargas que tiene el invernadero y aporta la presión del viento, se usará una profundidad de 1 m y con un diámetro de 0,35 m.

Diseño de la canoa

- **Condiciones climáticas**

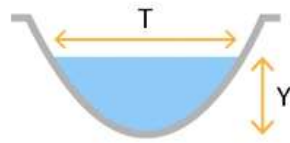
Los datos reportados por el Instituto Meteorológico Nacional en las estaciones más cercanas al área en estudio, Aeropuerto Juan Santamaría (automática) y Fabio Baudrid (automática), indican que las precipitaciones con mayor intensidad diaria con un registro de 19 años, fue de 146,2 mm y una velocidad del viento de 38 km/h.

El diseño de la canoa debe estar en función de la mayor intensidad y del área que se debe evacuar. Al tratarse de un invernadero tipo capilla, el agua va a escurrir hacia dos lados y el área de influencia es menor.

De acuerdo al Instituto Meteorológico de Costa Rica, la precipitación máxima registrada desde 1999 hasta 2017, en la región ha sido de 146,2 mm/d. Hay que tomar en cuenta que los datos brindados por esta Institución son datos promediados, de la misma manera se registran como diarios, aunque la precipitación haya sido un evento que sucedió en una hora. Dado este aspecto se tomó ese dato como si se hubiera desarrollado en una hora para que la canoa tenga las dimensiones aptas para soportar eventos máximos como este, ya que en la zona son conocidas las precipitaciones de alta intensidad.

Usando la Ecuación 3, con un coeficiente de escurrimiento de 1 y un área de 0,04 para las canoas centrales, ha se obtiene un caudal de 0,016 m³/s o 16 l/s. Para el dimensionamiento se toma un espejo de agua de 0,2 m.

Gracias a la ayuda de la aplicación Hydralm, se consiguen las dimensiones para la canoa, las cuales se muestran en la siguiente figura.



Tirante normal (Y_n)	0.0960	m
Área hidráulica (A)	0.0128	m ²
Foco de la parábola	0.0521	m
Perímetro (P)	0.2898	m
Radio hidráulico (R)	0.0442	m
Velocidad (V)	1.2497	m/s
Energía específica (E)	0.1756	m
Número de Froude (F)	1.5770	

Fuente: Elaborados con Hydralm, por la autora

Figura 14. Parámetros de diseño de la canoa

Como se observa en la ilustración anterior, la canoa fue diseñada con una sección parabólica, esto porque la misma usará del mismo plástico de la cubierta y esta forma tiene facilidad para ser formada con este material.

Cabe resaltar que la canoa tendrá un ancho de solera de 0,2 m y un tirante normal de 0,1 m, las mismas facilitarán la evacuación de las aguas para un evento máximo como el registrado. Sin embargo, se pueden ampliar las dimensiones de la canoa para dar un mayor aprovechamiento al material, que se vende con un ancho mínimo de 1 m.

Las evacuaciones de las aguas se dispondrán en la tubería trasera destinada para la canalización de aguas pluviales.

- Lista de materiales

Los materiales necesarios para la construcción del invernadero se presentan a continuación. Cabe resaltar que, en algunos materiales como plástico y mallas, se deben comprar rollos completos para suplir la necesidad, aunque no se utilicen en su totalidad, lo cual encarece la obra.

Material	Cantidad	Precio unitario ¢	Precio total ¢
Nivelación	300 m ³	18000/h	36000
Plástico	1 rollo de 7,5 x 100m	298000	390000
Malla anti insectos 50/25	2 rollos de 4,5 x 100 m	240000	480000
Perfiles 4 m	260 m cerchas (65) 272 m perímetro (68)	2925	389025
Cobertor suelo blanco	2 rollos 4,2 x 100m	150000	300000
Tornillos torlac ½"	1064 - 1200	7	8400
Cemento	32 sacos	6400	204800
Piedra	3,4 - 3,5 m ³	17200	60200
Arena	1,7 - 2 m ³	17000	34000
Pantalla sombreo	3 rollos Aluminet	224275	672825
Cerchas (contrato)	30	220000	6600000
Tubo hierro galvanizado 4x4x1.8	34	30820	1047880
Tubo 2x2*x1,8	18 centrales 8 arriostres perimetrales 12 pie amigo frotales y traseros 4 soportes canoa 20 barra longitudinal	62 15575	965650
Soldadura hilco 6013 3/32" Arco	1 caja de 5 kg	22625	22625
Pintura anticorrosivo	1 galón	18250	18250

Value Blanco VA1452-4 Lanco			
Cableado acerado con forro 3/16"	1 rollo 500 m canoa 400 m	600 m	240000
Grapas uso pesado 12 mm STANLEY TRA708T	10 cajas de mil	1900	19000
Varilla de construcción ½"	7 varillas	3300	23100

- Investigación para valorar la posibilidad de importar el invernadero

Debido al área de construcción la importación de una estructura se dificulta, ya que no posee el volumen necesario para llenar un contenedor. Algunas empresas importan las materias primas y aquí se forman las estructuras como los arcos y otras importan modelos creados para zonas no tropicales. Con la importación de un invernadero de esta magnitud se debería tener cuidado con las dimensiones de las canoas, resistencia y método de ajuste de los plásticos y principalmente verificar en su catálogo las condiciones para las que fue diseñada.

Análisis económico

Al realizarse los cálculos del total de materiales necesarios para la construcción del invernadero, mano de obra, costos de transporte de materiales y un 5% para imprevistos, se obtiene un total de inversión inicial de ₡16 332 493.

Tomando en cuenta que las mini estacas están en los túneles de 8 a 10 semanas, se tendrían ingresos hasta el tercer o cuarto mes, dependiendo del éxito que se tenga en esta etapa. La ganancia mensual sería que ₡2 571 840. Es importante resaltar que el análisis se realizó considerando que se tienen ventas estables y mensuales del total de la producción, caso contrario se debe buscar la manera de implementar otro tipo de plantas que su mercado sea más estable durante el año y realizar algunos ajustes a la estructura para que su desarrollo sea el ideal.

El análisis del VAN y TIR, se hicieron para los primeros 12 meses y posteriormente para los siguientes 5 años a su instalación. De ellos se obtuvieron que, si el proyecto durara solo un año, no es rentable, pues el valor del TIR obtenido es de 13%, sin embargo, para el año 5 resultó ser del 225%, al tenerse un valor mayor al 100% significa que el proyecto es altamente rentable. El VAN para su primer año es de ₡68 689 022.50 y al año 5 es de ₡405 212 772, estos datos justifican contablemente la factibilidad del proyecto.

Análisis ambiental

Al construirse cualquier estructura se va a generar un impacto ambiental a la zona donde se está destinado para la obra. Para analizar cada una de las actividades que se van a realizar, se utilizó la matriz arboleda. En la cual se toman en cuenta aspectos como el factor impactado, además de la clase (C), presencia (P), duración (D), evolución (E) y magnitud (M). De acuerdo a los valores obtenidos se realiza la clasificación como irrelevante, moderado, grave y severo.

En el Anexo 11, se puede visualizar que los impactos que presentan los valores más dramáticos son el deterioro del paisaje natural, poda, corta de árboles y cambios en la red de drenaje natural. Para la mitigación de estos aspectos es importante realizar obras de conservación de suelos en la zona posterior al invernadero, tales como siembra de árboles en la parte baja y si se deseara aprovechar la ladera construcción de terrazas.

Como es bien sabido, el agua arrastra todo lo que encuentra a su paso, por esta razón es importante no sólo proteger la parte baja sino también desde lo más alto donde se encuentran las otras estructuras. Debido a que si no se protege la parte superior el agua llegará con mayores velocidades a la parte baja, causando mayor erosión por donde pase.

Impacto social

La ampliación del área productiva de la empresa, claramente requerirá del aumento en el personal, tanto temporal como permanente. Al construirse la obra se debe contratar personas que tengan conocimiento estructural, en la construcción e instalación de los materiales, los cuales deben tratarse con el debido cuidado para no sacrificar sus propiedades.

El número de individuos que se verán beneficiados a corto plazo, va a depender del proceso que se utilice para el desarrollo de la construcción, ya que si se realiza una licitación “llave en mano” ellos cuentan con personas especializadas y con experiencia basta en el tema, o si se realiza contratando cada servicio por aparte se brindarán más opciones de empleo.

Por otro lado, se requiere de personal para que opere el cultivo dentro del invernadero. Actualmente no se tienen registros en la empresa acerca de la productividad de los empleados destinados a esta labor, sin embargo, en un área similar a la que se desea construir se tienen destinadas dos personas permanentes.

Además de los trabajos cotidianos de labores culturales propios del cultivo al que está destinado el invernadero, es necesario realizar un plan preventivo de mantenimiento de la obra, así como lavado de plásticos y mallas por lo menos una vez al año, por lo que se necesita más personas para esta labor.

Conclusiones

- El invernadero recomendado cuenta con los materiales de cubierta, estructurales y cimentación, necesarios para que el café que se encuentre dentro de él se desarrolle adecuadamente y alcance altas productividades para la empresa.
- La canoa diseñada con dimensiones de 0,2 m ancho y 0,1 m de alto tiene la capacidad de evacuar las precipitaciones de la zona.
- El volumen unitario de la estructura es de 4,5 con una altura de pared de 3,5m.
- Se disminuyó el área de construcción al no talarse el árbol de higuerón ubicado al final de la parte más nivelada, con el fin de no causar un impacto ambiental mayor al inevitable y porque se concluye que servirá tanto de soporte como cortina rompe vientos para la estructura a instalar.
- La construcción del invernadero es viable económicamente, resultando un 225% de TIR a 5 años.

Recomendaciones

- Buscar personal capacitado cuando se construya el invernadero para obtener los resultados deseados.
- Utilizar los materiales recomendados en la investigación y no variarlos para abaratar costos.
- Desarrollar obras de conservación de suelos que abarquen toda el área de la finca, con el fin de disminuir la erosión y proteger los taludes expuestos hasta ahora. Por medio de creación de terrazas, coberturas de áreas no utilizadas, canalización de aguas pluviales por medio de estructuras diseñadas para ello.
- Dar seguimiento a la estructura hidráulica que se utilizará para la evacuación de las aguas pluviales, generadas por el invernadero, ya que esta llega hasta la mitad de la ladera y de ahí para abajo el agua coge el rumbo deseado sin tener claro la ruta que debe seguir hasta llegar al río.
- Medir rendimientos del personal con que se cuenta para hacer una proyección correcta de las personas necesarias para la operación de la nueva estructura.

Bibliografía

- A.E Haarer. (1963). *Coffee Growing*. Inglaterra: Oxford Univerity Press.
- Agri - nova. (2017). *Infoagro*. Recuperado el 24 de junio de 2018, de http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/invernaderos_raspa_amagado.htm
- Alsimet. (27 de junio de 2017). *Alsimet*. Recuperado el 19 de junio de 2018, de <http://alsimet.es/noticias/tubo-de-hierro-en-construccion>
- Alvarado , M., & Rojas, G. (2007). *El cultivo y beneficiado del café* (Primera edición ed.). San José, Costa Rica: EUNED. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de https://books.google.co.cr/books?id=15qrSG-51l4C&pg=PA26&lpg=PA26&dq=humedad+relativa+ideal+para+alm%C3%A1cigo+de+caf%C3%A9&source=bl&ots=OfW9v7T57L&sig=jqlrToVv6bZw-gAQW8pX0qxjf48&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiL2tvbhfzaAhXRtVkKHYIZB_kQ6AEIgwEwBg#v=onepage&q=hum
- Araya, M. (2017). *Dosificación de concretos*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica.
- Arcilla, J. (2011). *Factores que determinan la productividad del cafetal*. Colombia: Cenicafé.
- Arnaiz, S. (2001). *Manual de producción de hortalizas en invernadero para la IX y X regiones de Chile, dirigido al consumidor familiar*. Santiago, Chile: Universidad Mayor.
- Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar. (2004). *Diseños, construcción y mantenimiento de invernaderos de madera*. Quito, Ecuador: PROMSA.
- Balderrama, K. (4 de octubre de 2016). *Ubicación y orientación del invernadero*. Recuperado el 24 de junio de 2018, de <https://prezi.com/zjgk7lapgw/ubicacion-y-orientacion-del-invernadero/>
- Barquero, G. (julio de 2010). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/boletinAP4\(23\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/boletinAP4(23).pdf)
- Barquero, M. (2016 de julio de 2016). Costa Rica intente revivir cultivo de café de menor calidad. *La Nación*.
- Baudoin, W. O. (Sin año). *FAO*. Recuperado el 23 de junio de 2018, de <http://www.fao.org/docrep/005/S8630S/s8630s07.htm#TopOfPage>
- Cancela, M. (2012). *Innatia*. Obtenido de <http://www.innatia.com/s/c-produccion-cafe/a-ambiente-para-producir-cafe.html>

- CATIE. (2016). *CATIE*. Recuperado el 16 de marzo de 2018, de <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/317/Plegable-F1.pdf>
- Cermeño, Z. S. (2005). *Construcción de invernaderos*. Madrid: Mundi Prensa.
- Cervantes, M. (9 de junio de 2015). *Fitosofia*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <https://fitosofia.blogspot.com/2015/06/pantallas-termicascoc.html>
- Cervantes, M. (13 de julio de 2015). *Fitosofia*. Recuperado el 24 de junio de 2018, de <https://fitosofia.blogspot.com/2015/07/ventilacion-en-invernaderos.html>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2002). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.
- Covertech. (2017). *Covertech: tecnologías agrícolas*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <file:///C:/Users/User/Downloads/Catalogo%20de%20Productos%202017v2.pdf>
- DaMatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía de Colombia*, 113-123.
- Dep. Agr. Costa Rica. (5 de junio de 2006). *Engormix*. Obtenido de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/cafe-clima-suelos-t26410.htm>
- EPR Agrícola. (13 de julio de 2017). *Sistema Agrícola*. Obtenido de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-invernaderos-materiales/>
- ERP Agrícola. (13 de julio de 2017). *Sistema Agrícola*. Recuperado el 14 de junio de 2018, de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-invernaderos-materiales/>
- Espí, E. (julio de 2012). *Cajamar*. Obtenido de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-550.pdf>
- Fertri invernaderos. (2018). *Fertri invernaderos*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <http://www.fertri.com/accesorios-y-componentes/pantallas-termicas/>
- Gamboa, O. M. (2014). *Propagación vegetativa en el mejoramiento genético forestal*. Cartago: ITCR.
- HortiCultivos. (26 de julio de 2017). *HortiCultivos*. Obtenido de <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>
- Hydro environment. (2018). *Hydroenv*. Recuperado el 23 de junio de 2018, de https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=429

- Industrias metálicas agrícolas. (2017). *Invernaderos IMA*. Recuperado el 2018, de <http://www.invernaderosima.com/assets/files/PantallaSombreo.pdf>
- Infoagro. (2017). Obtenido de http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos.htm
- Ininsa. (diciembre de 2010). *Fabricante invernaderos*. Recuperado el 27 de junio de 2018, de <https://www.fabricanteinvernaderos.com/productos/invernaderos/multicapilla-de-techo-curvo/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2007). *Café Gourmet*. Managua: IICA.
- Instituto Meteorológico de Costa Rica. (1999-2017). *Estación: Juan Santamaría 84-169*. San José, Costa Rica.
- Jardin day. (15 de diciembre de 2015). *Jardin day*. Recuperado el 12 de junio de 2018, de <https://jardinday.com/2017/12/15/malla-sombra/>
- Jové, F. (2017). *El acero y otros materiales*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- La Nación. (29 de junio de 2017). *CentralAmericaData*. Recuperado el 16 de marzo de 2018, de https://www.centralamericadata.com/es/search?q1=content_es_le:%22precio+del+caf%C3%A9%22&q2=mattersInCountry_es_le:%22Costa+Rica%22
- Marín, M. (29 de abril de 2013). *Portal fruticola*. Recuperado el 15 de junio de 2018, de <https://www.portalfruticola.com/assets/uploads/2017/07/Manual-de-Invernaderos-2.pdf>
- Mejía, J. (27 de febrero de 2016). Abre en Japón la Feria del Café Gourmet. *La Información*.
- Meléndez, L. (31 de marzo de 2014). *Hortalizas*. Recuperado el 27 de agosto de 2018, de <https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/microenmallado-para-control-de-trips/#Tinsel/49963/1>
- Metalco. (06 de agosto de 2012). *Especificación Técnica*. Recuperado el 19 de junio de 2018, de <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/16413ae96554ee01?projector=1&messagePartId=0.5>
- Metaliser. (2012). *Metaliser*. Recuperado el 25 de mayo de 2018, de <http://www.metaliser.com/plasticos.php>
- Montoya, J., & Pinto, F. (2010). *Cimentaciones*. Mérida: Universidad de los Andes.
- MSC Invernaderos. (27 de diciembre de 2016). *Grupo MSC*. Obtenido de <http://grupomsc.com/tipos-de-invernaderos/>
- Murillo, O. (2014). *Propagación vegetativa en el mejoramiento genético forestal*. Cartago: ITCR.

- Murillo, O., & Badilla, Y. (2013). Calidad de clones y de mini jardine clones. Cartago, Costa Rica: GENFORES/ITCR.
- Murillo, O., Badilla Valverde, Y., Villalobos, M., & Rojas Parajeles, F. (2013). *Optimización de la tecnología de propagación vegetativa in vivo y plantación de teca y pilón*. Costa Rica: TEC.
- National Greenhouse Manufactures Association. (2004). *Structural Design Manual*. Stovall Street: NAVFAC.
- Ponce, P. (4 de octubre de 2013). *Hortalizas*. Obtenido de <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/invernadero/ventilacion-mecanica-vs-natural-en-invernaderos/>
- Prados, N. C. (2007). *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo*. Obtenido de <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>
- Ramírez, J. (2011). *Guía técnica para el cultivo del café*. Barva, Heredia: CICAPE. doi:<http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- Renjifo, A. (1992). *El café en Costa Rica*. Federación Nacional de cafetaleros de Colombia.
- Sarmiento, L. (2 de octubre de 2017). *Jardinería ON*. Obtenido de <https://www.jardineriaon.com/tipos-invernadero.html>
- Serrano, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Madrid: Mundi Prensa.
- Soler y Palau. (2018). *S y P*. Recuperado el junio24 de 2018, de <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-la-climatizacion-de-invernaderos/>
- Stiglich, P. M. (23 de marzo de 2015). *Agriculturers*. Recuperado el 6 de junio de 2018, de <http://agriculturers.com/plasticos-agricolas-sus-usos-y-problemas/>
- Taborda, M. (14 de junio de 2013). *La clase de tecnología*. Recuperado el 6 de junio de 2018, de <https://tecnonacional.blogspot.com/2013/06/el-efecto-loto.html>
- Tafoya, F. A. (2012). *Efecto que ocasionan las mallas sombra de colores en el crecimiento de hortalizas*. Culiacán: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Termiser: Plataformas y andamios. (19 de setiembre de 2017). *Termiser*. Recuperado el 14 de junio de 2018, de <https://www.termiser.com/hierro-donde-viene-cuantos-tipos-hierro/>
- UNE-En 13031-1. (2002). *Proyecto y Construcción: Parte 1 Invernaderos para la producción comercial*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación .

Valera, D. (16 de noviembre de 2016). *Agriculturers*. Recuperado el 11 de junio de 2018, de <http://agriculturers.com/mallas-antiinsectos-que-mejoran-la-ventilacion-en-los-invernaderos/>

Villalobos Araya, M. (2004). Manual de ambientes protegidos. Cartago, Costa Rica: ITCR.

Villareal, J. (2017). *Intagri*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/seleccion-inteligente-de-plasticos-para-invernaderos>

Zúñiga, M. (17 de julio de 2012). *Slideshare*. Recuperado el 22 de junio de 2018, de <https://es.slideshare.net/AgropecuarioINA/construccin-de-invernaderos-13670529>

Zúñiga, M. (2014). Elección de estructuras de protección. *Curso de Tecnologías en Ambientes Protegidos*. Cartago: TEC.

Zúñiga, M. (2014). Mantenimiento preventivo del invernadero y del sistema de riego. Cartago, Costa Rica: ITCR.

Anexos

Anexo 1. Corte de una hoja de café



Fuente: (CATIE, 2016)

Figura 15. Material vegetal usado para la embriogénesis somática

Anexo 2. Mini jardín de plantas madre de café



Fuente: (CATIE, 2016)

Figura 16. Plantas madre de café en un ambiente protegido

Anexo 3. Insectos que atacan los cultivos y sus dimensiones



Mosca Blanca

Afido

Thrips

1.3

1.2

1.0

0.45

1.0

0.19





Anchura abdomen			Altura abdomen		
					
media	mínima	máxima	media	mínima	máxima
0.282	0.242	0.315	0.218	0.178	0.243
Anchura tórax			Altura tórax		
					
media	mínima	máxima	media	mínima	máxima
0.251	0.217	0.296	0.213	0.169	0.262

Figura 17. Tamaño de los insectos más comunes que atacan los cultivos

Fuente: (Meléndez, 2014)

Anexo 4. Protección con sarán en invernadero para mini jardines



Fuente: Zúñiga (2014)

Figura 18. Invernadero con cielo raso de sarán

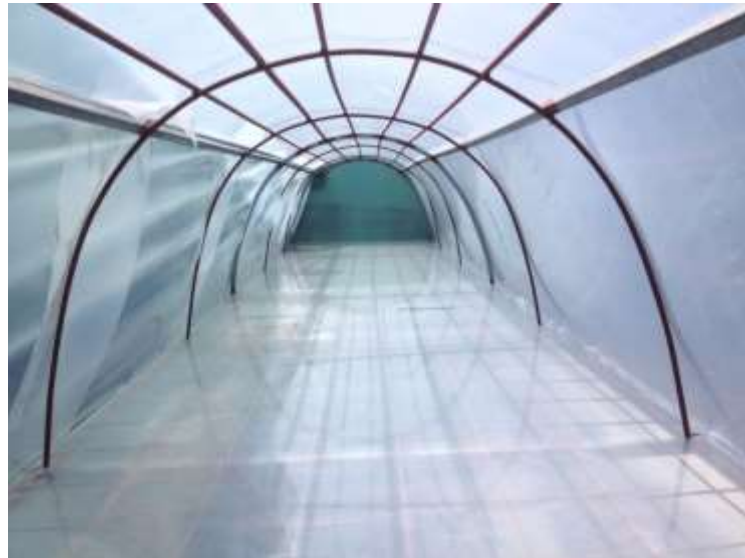
Anexo 5. Cosecha de esquejes de café



Fuente: Murillo, O., & Badilla, Y. (2013)

Figura 19. Esquejes cosechados de café

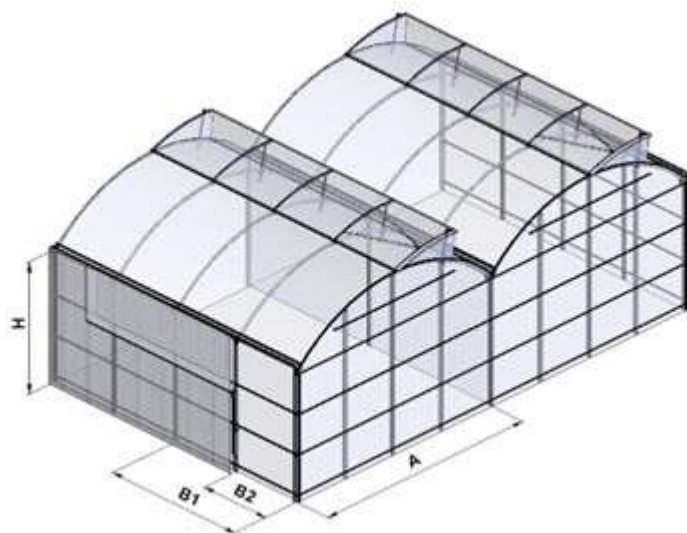
Anexo 6. Mini túnel, estructura donde se colocan las bandejas para que raiceen



Fuente: (Zúñiga, *Mantenimiento preventivo del invernadero y del sistema de riego*, 2014)

Figura 20. Mini túnel plástico usado en la segunda etapa del proceso de embriogénesis somática

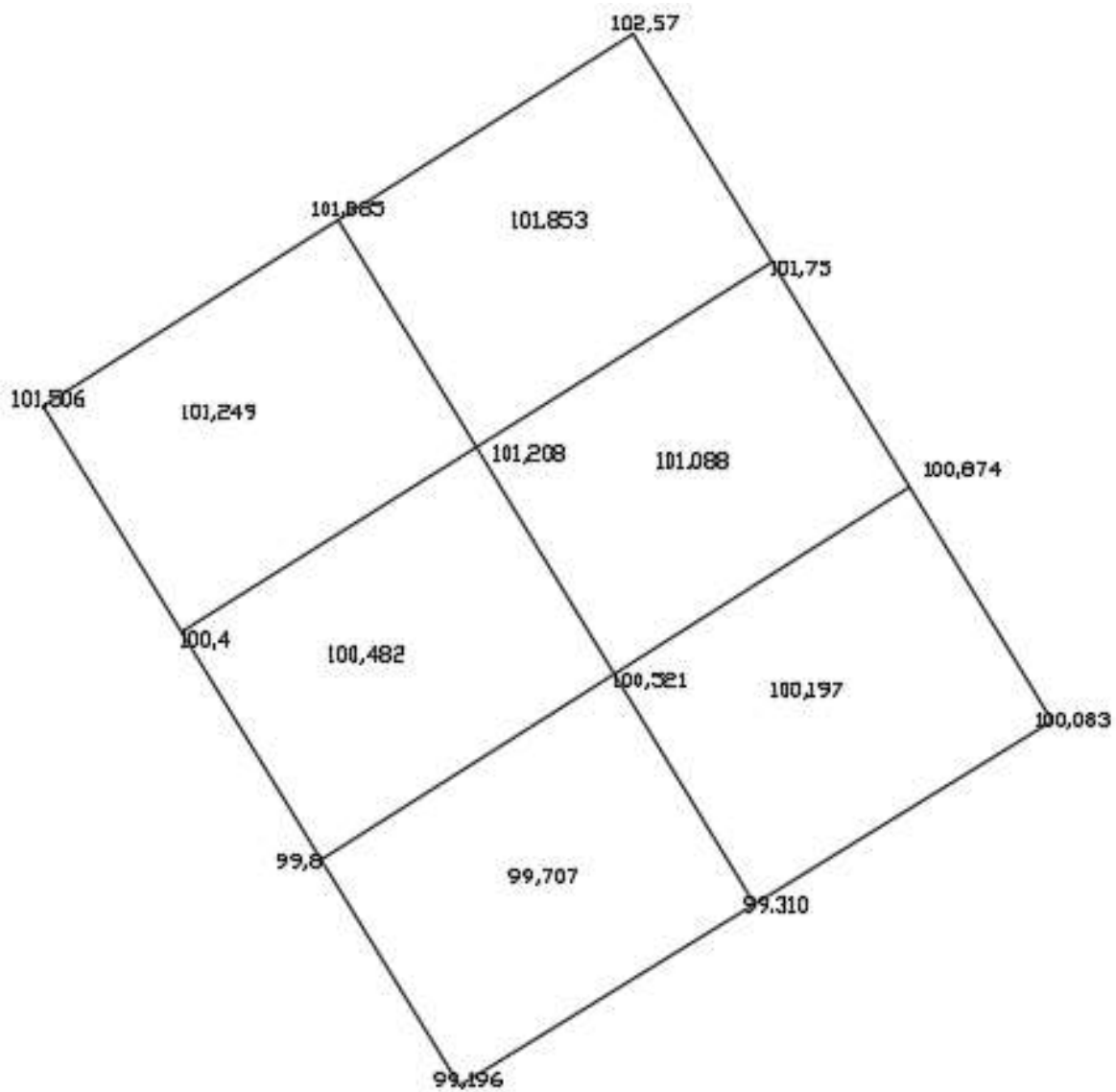
Anexo 7. Invernadero tipo capilla



Fuente: (Prados, 2007)

Figura 21. Invernadero tipo capilla con dos naves

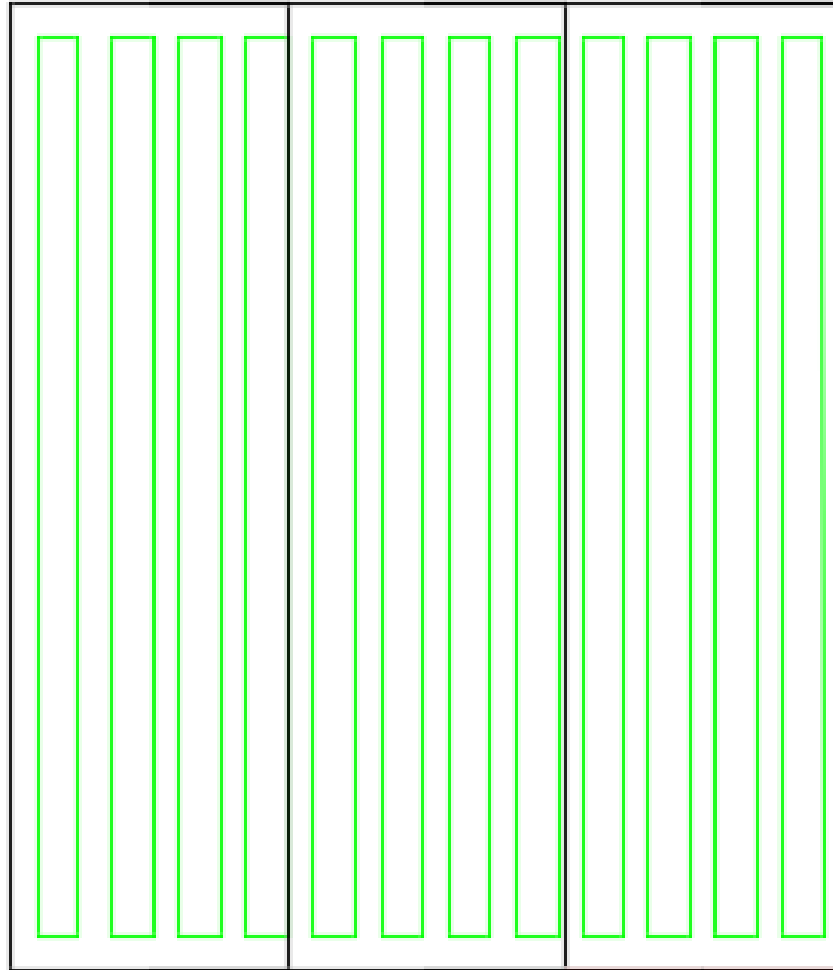
Anexo 8. Nivelación del terreno



Fuente: Elaborado en AutoCAD 2017, por la autora

Figura 22. Nivelación topográfica del terreno donde se construirá el invernadero

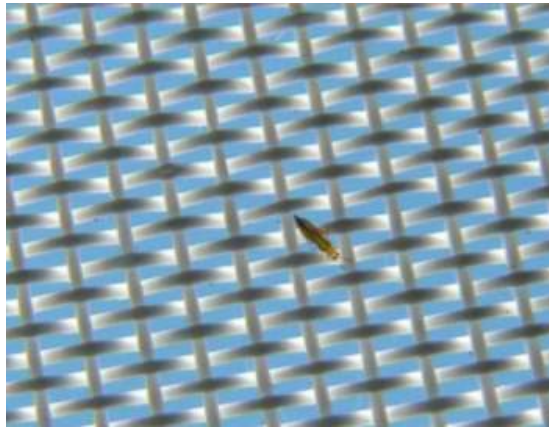
Anexo 9. Distribución de camas dentro del invernadero



Fuente: Elaborado en AutoCAD 2017, por la autora

Figura 23. Distribución de camas de almácigo de café dentro de las tres naves de invernadero

Anexo 10. Malla anti insectos bloqueando trips



Fuente: (Covertch, 2017)

Figura 24. Mira microscópica de malla anti insectos con mesh 50

Anexo 11. Análisis ambiental de cada actividad

Fase	Descripción del impacto	Factor	C	P	D	E	M	Ca	Impacto ambiental
Nivelación	Susceptibilidad a la erosión por falta de cobertura vegetal	Suelo	-1	1	0.5	0.5	0.7	-2.95	Moderado
	Desestabilización o desprendimiento de taludes o formaciones de suelos	Suelo	-1	1	0.7	0.2	0.5	-1.4	Irrelevante
	Deterioro del paisaje natural por excavaciones	Paisaje	-1	1	0.8	-1	-1	-7.8	Grave

	Mano de obra durante el periodo de nivelación	Social	1	1	1	1	1	8	Irrelevante
Construcción de invernadero	Excavación hoyos de cimentación	Suelo	-1	-1	0.2	1	0.3	2.3	Irrelevante
	Poda de árboles y arbustos	Paisaje	-1	-1	0.2	1	-1	-6.8	Severo
	Generación de polvo por transporte de materiales	Paisaje	-1	1	0.2	1	0.3	-2.3	Irrelevante
	Cambios red de drenaje natural	Agua	-1	-1	0.5	1	-1	-6.5	Severo
	Mano de obra durante el periodo de nivelación	Social	1	1	1	1	1	8	Irrelevante