

Simulación de variables climáticas en invernaderos



Arq. Gastón Ibarburu
Maestría en Ingeniería Física
Proyecto de tesis

Tutor: Italo Bove
Co-tutor: Gonzalo Abal



Fundamentación

La producción hortifrutícola de cultivos protegidos es un sector de relevancia en Uruguay.

El diseño y construcción de invernaderos se realiza en forma artesanal, usando un método no cuantitativo basado en la experiencia acumulada.

Retroalimentación entre perfil de Arquitectura e Ingeniería Física.

Objetivos:

- Implementar un modelo para variables ambientales en cultivos protegidos y calibrarlo según medidas ambientales.
- Evaluar diferentes aspectos del diseño y desempeño térmico de invernaderos reales en las condiciones climáticas típicas en el sur y el litoral norte del Uruguay.

Medidas

- Variables climáticas exteriores
 - ↓ Envolverte - estructura
- Variables climáticas interiores
 - ↓ Rendimiento potencial
- Rendimiento real



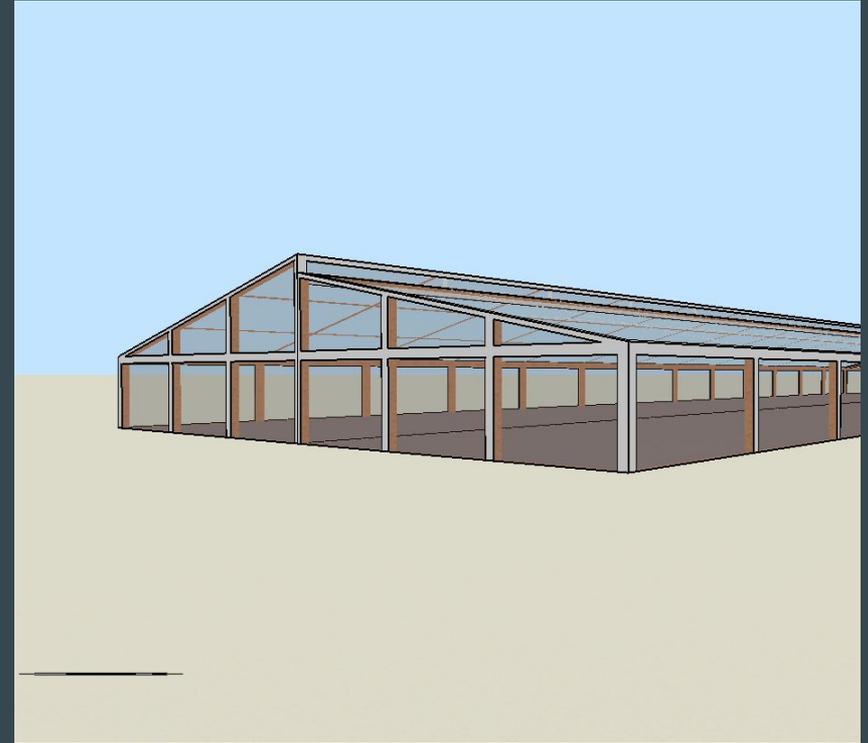
Foto provista por el doctorando Ing. Agrónomo Carlos Barros.

Implementación del modelo

Motor de cálculo: Energyplus, con modelado en Designbuilder.

Factores tenidos en cuenta en la elección:

- Interfaz de modelado que facilite aspectos geométricos en análisis de futuros casos.
- Desglose del balance energético.
- Ventilación natural calculada.
- Importancia de la humedad relativa.
- Inercia térmica del suelo.
- Necesidad de considerar el cultivo.



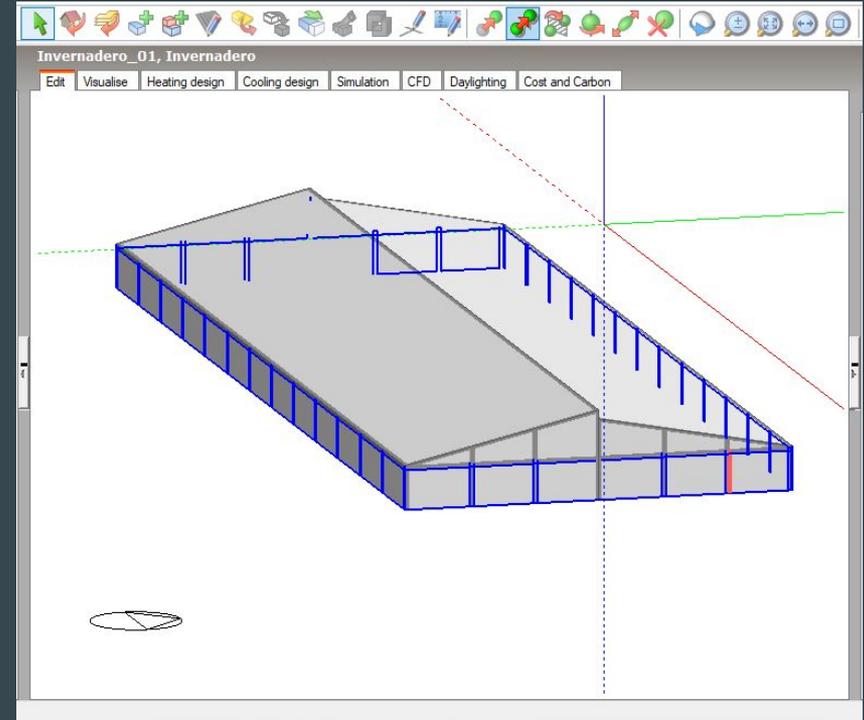
Captura del modelo 3D implementado, en modo visualización.

Implementación del modelo

Motor de cálculo: Energyplus, con modelado en Designbuilder.

Factores tenidos en cuenta en la elección:

- Interfaz de modelado que facilite aspectos geométricos en análisis de futuros casos.
- Desglose del balance energético.
- Ventilación natural calculada.
- Importancia de la humedad relativa.
- Inercia térmica del suelo.
- Necesidad de considerar el cultivo.



Captura de interfaz Designbuilder.

Implementación del modelo

Motor de cálculo: Energyplus, con modelado en Designbuilder.

Factores tenidos en cuenta en la elección:

- Interfaz de modelado que facilite aspectos geométricos en análisis de futuros casos.
- Desglose del balance energético.
- Ventilación natural calculada.
- Importancia de la humedad relativa.
- Inercia térmica del suelo.
- Necesidad de considerar el cultivo.



Captura de visualización de datos obtenidos en simulaciones. .

Implementación del modelo

Motor de cálculo: Energyplus, con modelado en Designbuilder.

Factores tenidos en cuenta en la elección:

- Interfaz de modelado que facilite aspectos geométricos en análisis de futuros casos.
- Desglose del balance energético.
- Ventilación natural calculada.
- Importancia de la humedad relativa.
- Inercia térmica del suelo.
- Necesidad de considerar el cultivo.

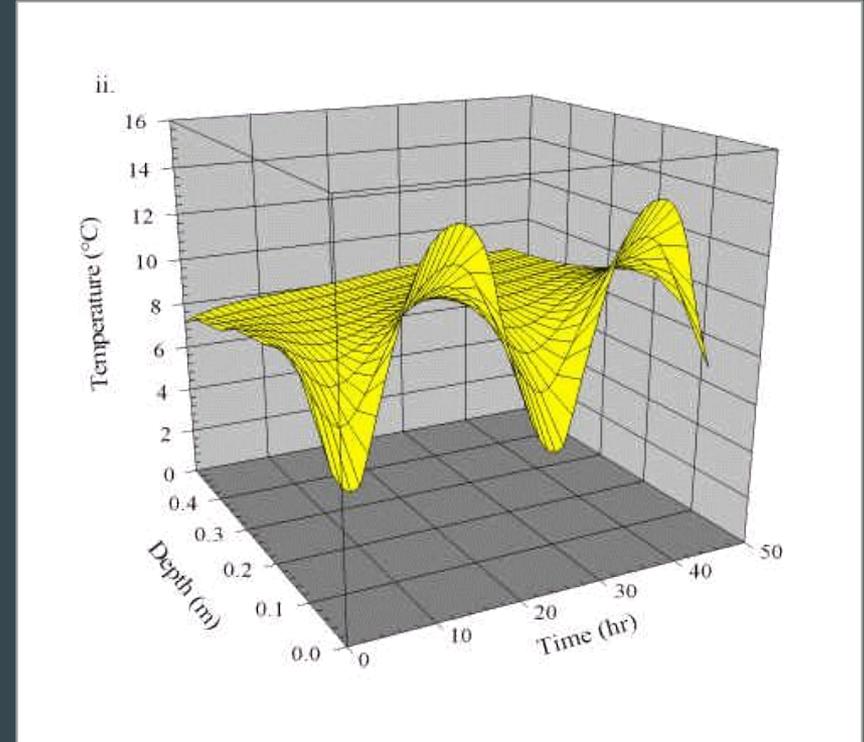
Desafíos actuales: incidencia del suelo

Prácticamente el único elemento que acumula calor en un invernadero es el suelo. Masa térmica de envolvente y de la masa de aire son bajas.

El intercambio de calor con el suelo reduce la amplitud de temperaturas interiores y acumula calor.

La simulación en base al modelo unidimensional de diferencias finitas asume las caras de las zonas como planos isotermos e intercambio de calor únicamente con el suelo profundo a temperatura constante.

Es posible que haya intercambios significativos de calor con ambiente a través del suelo.

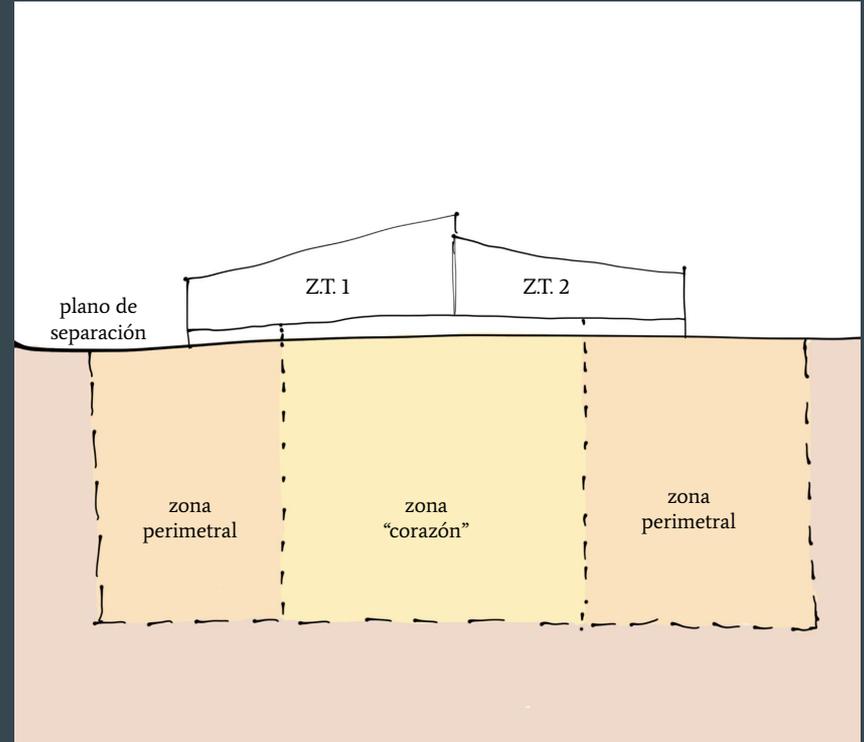


Desafíos actuales: incidencia del suelo

Se utilizará el programa auxiliar Slab incorporado a EnergyPlus.

A partir de un modelo de diferencias finitas en 3D, el software establece una temperatura del suelo en la superficie de separación con el edificio (cara inferior del cerramiento del suelo), la cual divide a su vez en una zona central y una perimetral. Estos valores son utilizados por EnergyPlus para recalcular las temperaturas interiores ¹.

Proceso iterativo (una sola iteración).



1. Flores Larsen, S. 2011. Modelización de la transferencia de calor al suelo en los programas de simulación térmica de edificios energyplus y simedif

Desafíos actuales: incidencia del cultivo

Implica considerar masa del cultivo, y evapotranspiración, que depende de la superficie de hojas.

Existen modelos que predicen con precisión el de crecimiento del cultivo.

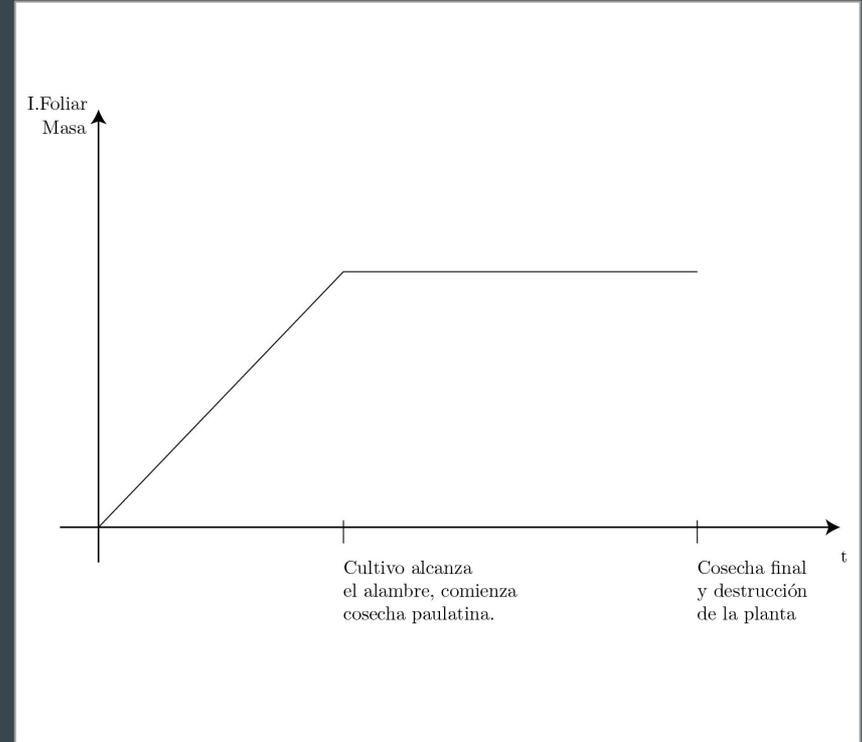
Hay antecedentes de co-simulación de variables ambientales y crecimiento de cultivo.



Desafíos actuales: incidencia del cultivo

De todas formas en el caso de los productores no se trata de crecimiento libre.

En primera instancia puede asumirse un modelo de tramo creciente lineal y tramo constante.

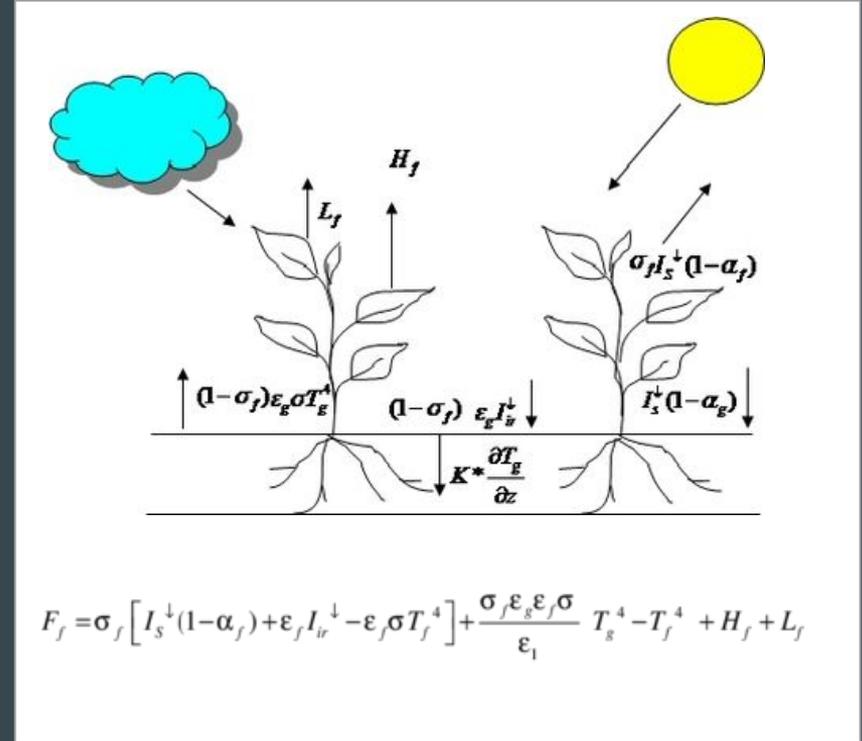


Desafíos actuales: inclusión del cultivo en el modelo

Módulo Green Roof de Designbuilder para EnergyPlus que a partir del factor de índice de área foliar (LAI)¹ considera evapotranspiración ².

1. Es el cociente del área de hojas proyectada sobre el área del suelo.

2. H_f : The sensible heat transfer between the leaf surface and near-canopy air (H_f) is influenced by the temperature difference between them, wind speed, and Leaf Area Index (LAI).

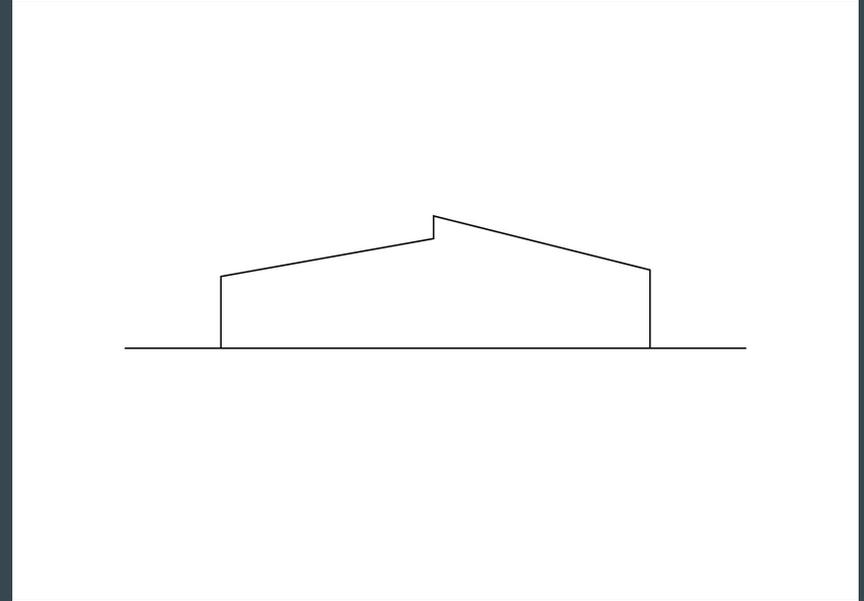


Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.

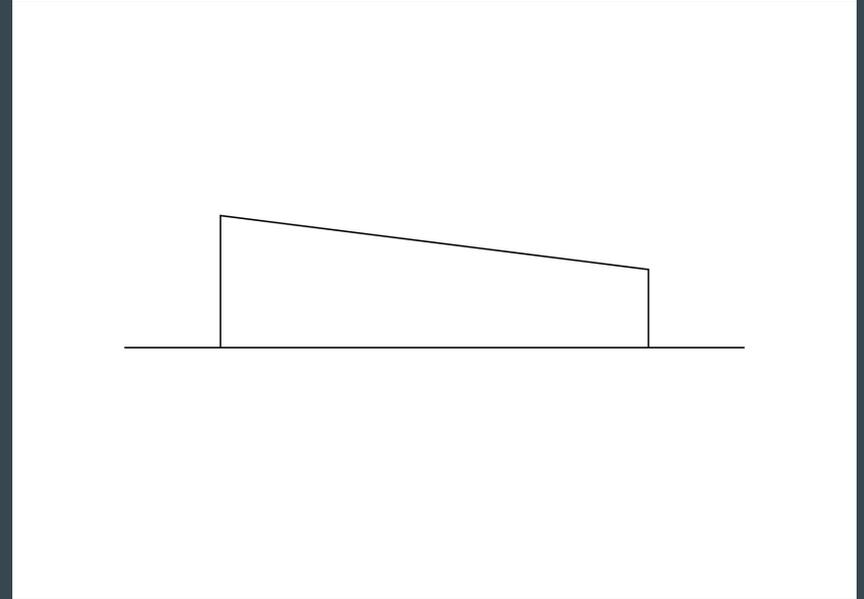
(Optimización desde el punto de vista térmico para maximizar el producto potencial de cultivo)



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

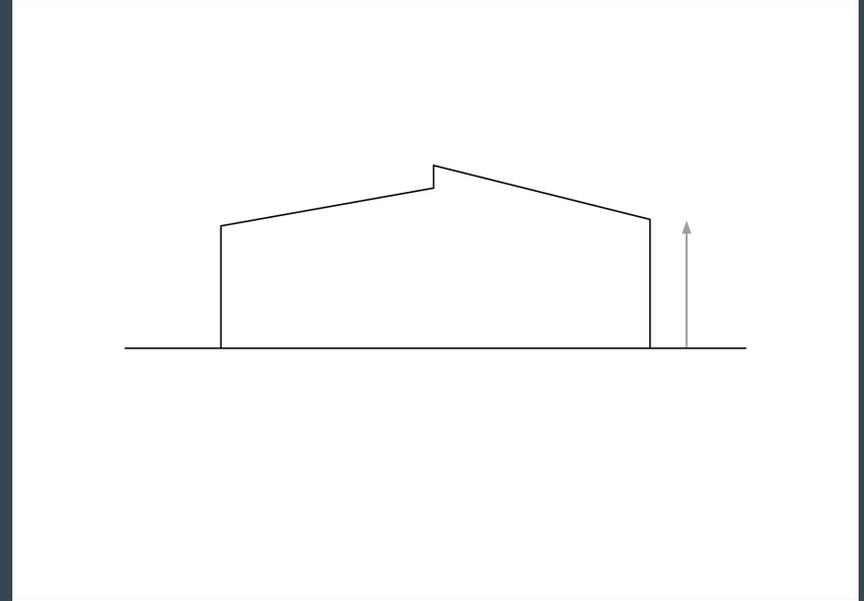
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

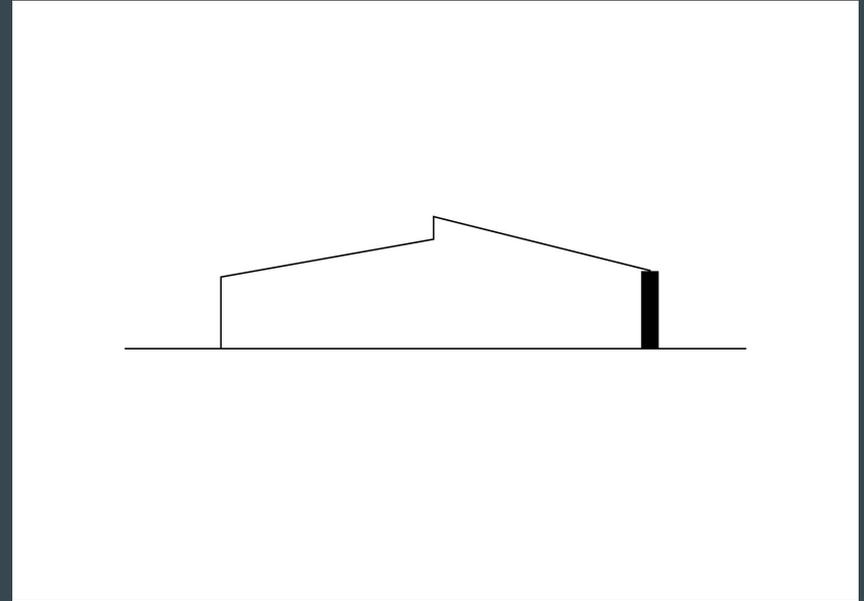
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

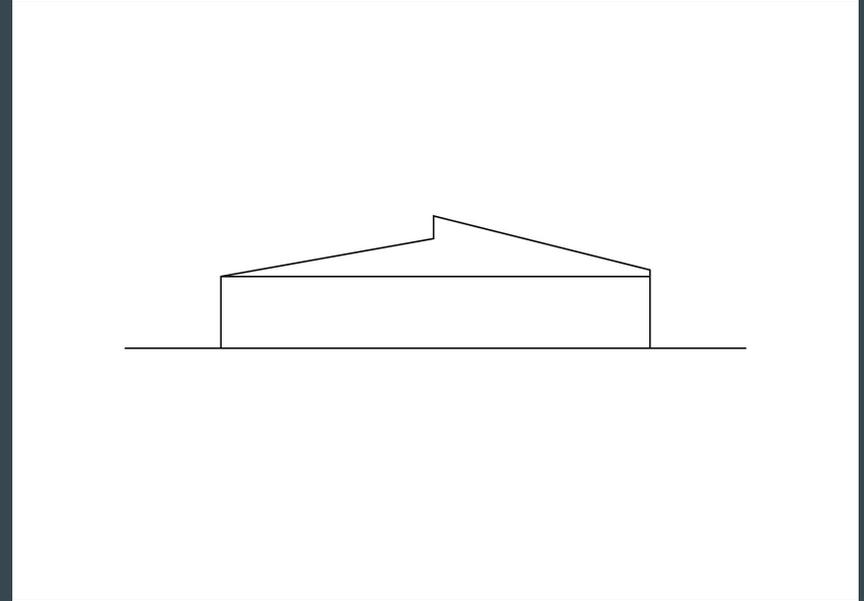
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

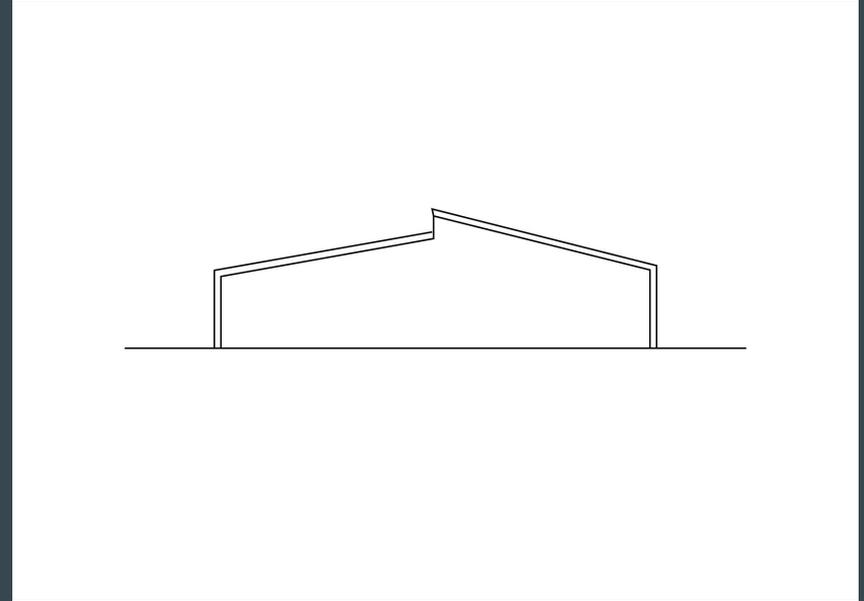
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

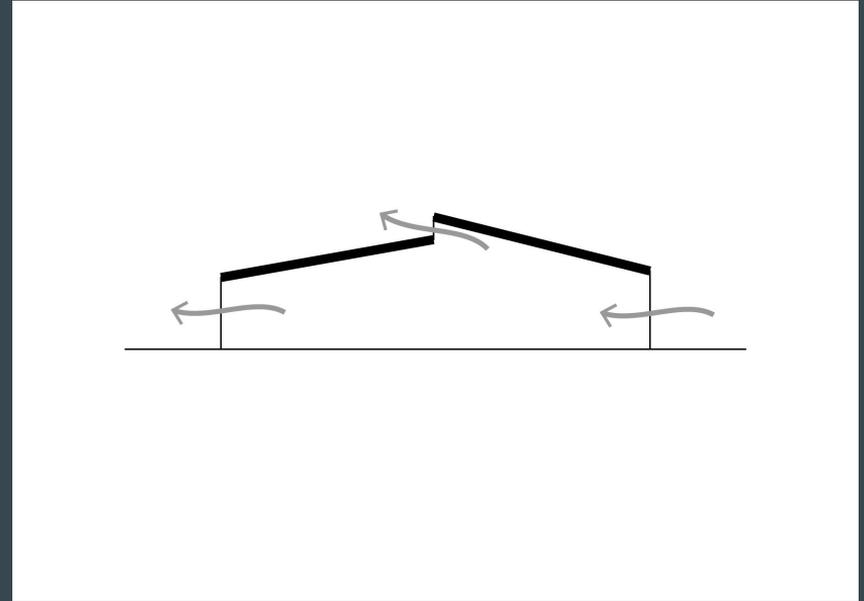
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

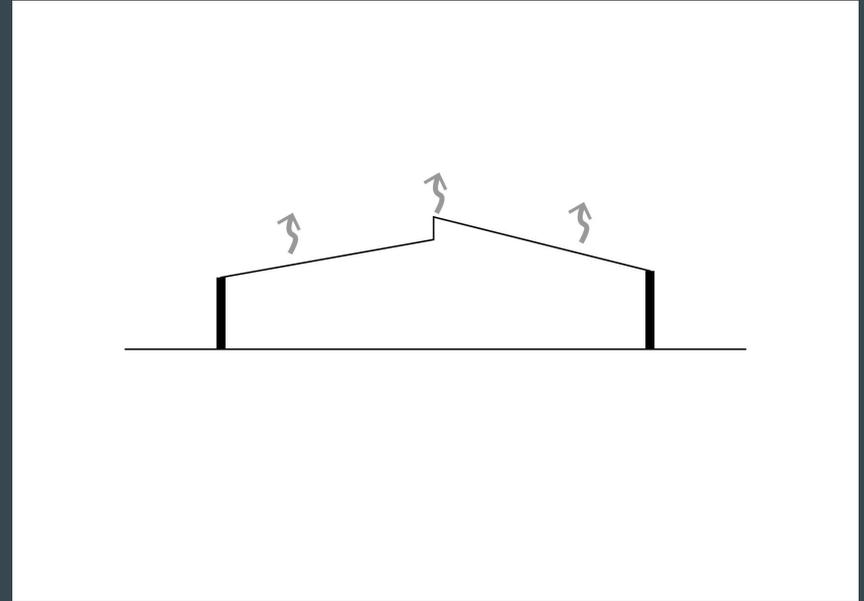
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Optimizar variables de diseño:

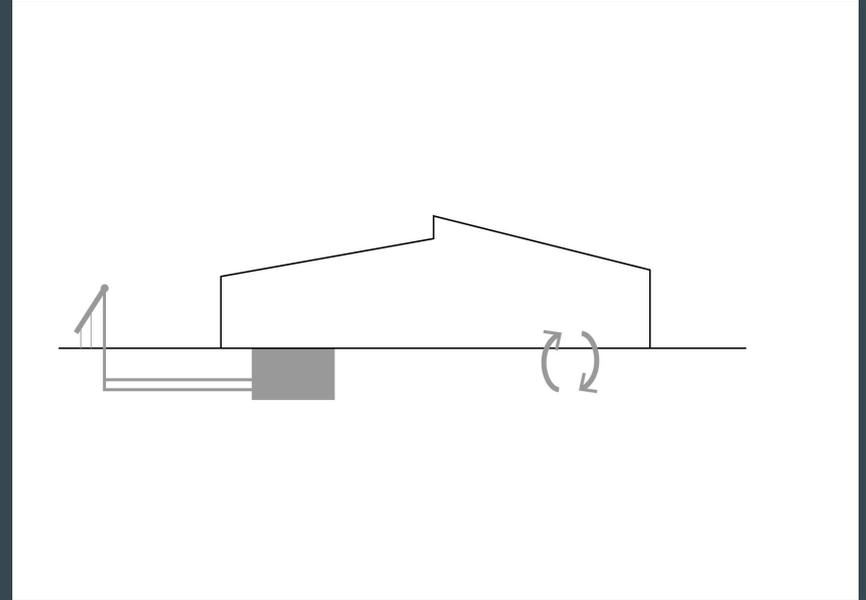
- Orientación del invernadero y geometría de la cubierta.
- Materiales, trade off transmitancia - resistencia conductiva.
- Criterios de ventilación y enfriamiento.



Posibles optimizaciones y mejoras

Evaluar el impacto de posibles medidas complementarias:

- Posibilidad de utilizar colectores solares complementarios.
- Intercambiadores tierra aire para acumulación de calor.



Muchas gracias!