



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Evaluación del uso de pantallas termorefllectoras en cultivo de rosa para exportación en Colombia**

**MAURICIO PULIDO LANDINEZ**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Bogotá, Colombia  
2012



# **Evaluación del uso de pantallas termorefllectoras en cultivo de rosa para exportación en Colombia**

**MAURICIO PULIDO LANDINEZ**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería Agrícola**

Director:

John Fabio Acuña Caita  
Ingeniero Agrícola Ph. D

Línea de Investigación:

Adecuación de tierras

Grupo de Investigación:

Grupo de Tecnología de Invernaderos y Agroplásticultura (GTI)

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Bogotá, Colombia  
2012



*A mi madre Ricarda,  
A Victoria, Catalina y Adriana  
A mis hermanos*



## **Agradecimientos**

El autor agradece a todas y cada una de las personas que participaron en el proyecto y en especial a:

Diana Mogollón y Daniel Briceño, colegas Ingenieros Agrícolas cuyo aporte y participación en este trabajo fue crucial y determinante para llevar esta investigación a feliz término.

Jonh Fabio Acuña Caita, Ingeniero Agrícola PhD, director del trabajo de investigación.

María Carolina Sandoval por su asesoría en el análisis estadístico.

Jesús Hernán Camacho, profesor de la Universidad Nacional de Colombia.

Personal operativo, técnico y administrativo de Agrícola El Redil Ltda

De igual manera el autor agradece a las instituciones y compañías que aportaron en la investigación: Universidad Nacional de Colombia, Agrícola El Redil Ltda y Polysack Industrias S.A.



## Resumen

Este trabajo pretende dar a conocer el resultado de la implementación de un sistema de pantallas termoreflectoras en un cultivo de rosa bajo invernadero en la Sabana de Bogotá; para tal fin se utilizaron dos invernaderos similares, en uno se instaló una pantalla y el otro sirvió como testigo; se monitorearon condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa y luminosidad de los dos invernaderos. Al final de la cosecha se midieron también otros parámetros como la cantidad de rosas que cumplían los lineamientos para ser exportadas, los días de cosecha y la cantidad de agroquímicos utilizados. Después de realizar el análisis estadístico se compararon los resultados obtenidos con la revisión de literatura; de esta forma se evidenció que el invernadero con pantalla presentó un incremento en la conservación de la energía, aumentó en un 30% la cantidad de rosas de exportación, disminuyó la cantidad de insumos y de mano de obra.

**Palabras clave:** termoreflectoras, temperatura, humedad, relativa, luminosidad, producción.

## **Abstract**

This work aims to show the results of the implementation of a system of thermo reflective screens in a crop of roses using green house in the Sabana de Bogota, to this purpose was necessary use two similar green houses, in one of them was installed a screen and the other served as witness, in this two greenhouses were monitored environmental conditions such as temperature, relative humidity and luminosity, at the end of the harvest other parameters were also measured as the amount of roses with the properties to be exported, the harvest days and the amount of chemicals used. After performing the statistical analysis was compare the obtained results with the literature review, at the finish the greenhouse with thermo reflective screen evidenced an increase in energy conservation, increased by 30% the amount of roses to export and decreased the amount of agricultural inputs and labor days.

**Keywords:** temperature, relative humidity, luminosity, production

# Contenido

<b>Agradecimientos .....</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>X</b>
<b>Lista de imágenes .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de gráficos.....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
1. MARCO TEÓRICO.....	23
1.1 Pantallas térmicas o termo-reflectoras.....	23
1.2 Tipos de pantalla .....	24
1.3 Balance energético .....	25
1.4 Estado del arte .....	27
1.4.1 Entorno mundial .....	27
1.4.2 Entorno regional .....	31
1.4.3 Entorno nacional.....	32
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	35
3. METODOLOGÍA .....	37
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
4.1 Análisis estadístico .....	43
4.2 Análisis de parámetros climáticos.....	50
4.2.1 Análisis de temperatura .....	50
4.2.2 Análisis de la humedad relativa .....	54
4.2.3 Análisis de luminosidad .....	56
4.3 Análisis de crecimiento .....	57
4.4 Análisis de operaciones de control químico .....	62
4.5 Análisis económico .....	63
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	69
5.1 Conclusiones .....	69
5.2 Recomendaciones .....	70

<b>A. Anexo: Recopilación de datos, (HOBO).....</b>	<b>75</b>
<b>B. Anexo: Salidas del software XLSTAT 7-5- .....</b>	<b>83</b>
<b>C. Anexo: Parámetros de exportación de rosas colombianas.....</b>	<b>97</b>
<b>D. Anexo: Protocolo de operación de la pantalla térmica .....</b>	<b>101</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>107</b>

## Lista de imágenes

<b>Imagen 3-1:</b> Ubicación de los invernaderos .....	37
<b>Imagen 3-2:</b> Pantalla térmica extendida horizontalmente .....	38
<b>Imagen 3-3:</b> Pantalla recogida. ....	39
<b>Imagen 3-4:</b> Seguimiento del crecimiento .....	41
<b>Imagen 4-1:</b> Comparación de la calidad de las rosas.....	62

## Lista de tablas

<b>Tabla 4-1:</b>	Pruebas de medias de temperatura entre los invernaderos .....	44
<b>Tabla 4-2:</b>	Pruebas de medias de humedad relativa entre los invernaderos .....	45
<b>Tabla 4-3:</b>	Pruebas de medias intensidad luminosa entre los invernaderos .....	45
<b>Tabla 4-4:</b>	Estadísticas descriptivas.....	46
<b>Tabla 4-5:</b>	Estadística descriptiva, temperatura: .....	47
<b>Tabla 4-6:</b>	Estadísticas descriptivas, humedad relativa:.....	48
<b>Tabla 4-7:</b>	Estadísticas descriptivas, luminosidad: .....	49
<b>Tabla 4-8:</b>	Costos (En COP año 2011) de infraestructura y mantenimiento invernadero con pantalla .....	63
<b>Tabla 4-9:</b>	Costos (En COP año 2011), infraestructura y mantenimiento invernadero sin pantalla. ....	64
<b>Tabla 4-10:</b>	Inversión por m <sup>2</sup> .....	64
<b>Tabla 4-11:</b>	Inversión por planta .....	64
<b>Tabla 4-12:</b>	Inversión por m <sup>2</sup> .....	65
<b>Tabla 4-13:</b>	Inversión por planta .....	65
<b>Tabla 4-14:</b>	Porcentaje de rosas exportables.....	65
<b>Tabla 4-15:</b>	Análisis de comercialización por m <sup>2</sup> .....	66

## Lista de gráficos

<b>Gráfico 4-1:</b> Comparativo de temperaturas diarias.....	51
<b>Gráfico 4-2:</b> Comparativo de temperatura semanal.....	52
<b>Gráfico 4-3:</b> Comparativo de temperaturas máximas semanales.....	53
<b>Gráfico 4-4:</b> Comparativo de temperaturas mínimas semanales.....	54
<b>Gráfico 4-5:</b> Comparativo de humedad relativa diario .....	55
<b>Gráfico 4-6:</b> Humedad relativa diaria mínima .....	56
<b>Gráfico 4-7:</b> Comparativo de intensidad luminosa diaria .....	57
<b>Gráfico 4-8:</b> Comparativo de crecimiento semanal, diámetro tallo .....	58
<b>Gráfico 4-9:</b> Comparativo de crecimiento semanal, altura del tallo.....	59
<b>Gráfico 4-10:</b> Comparativo de crecimiento semanal, diámetro de la cabeza .....	59
<b>Gráfico 4-11:</b> Comparativo de crecimiento semanal altura de la cabeza .....	60
<b>Gráfico 4-12:</b> Porcentaje de cosecha por fecha.....	61
<b>Gráfico 4-13:</b> Operaciones de control químico.....	62

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
$A$	Área	$m^2$
$L$	Longitud	M
$M$	Masa	Kg
$Q$	Calor	Kj
$T$	Temperatura	K
$T$	Tiempo	S
$V$	Volumen	$m^3$
$U$	Coeficiente global de pérdidas de calor	$W/m^2 K$
$\bar{u}$	Velocidad	m/s

### Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
$A$	Coeficiente de significancia	
$\Sigma$	Desviación típica	
$\sigma^2$	Varianza	

## Subíndices

Símbolo	Término	Unidad SI
A	Porcentaje de la radiación usado en la transpiración	
$A_c$	Superficie de la cubierta	$m^2$
$A_s$	Superficie del suelo	$m^2$
$H_0$	Hipótesis de las diferencias nulas	
$H_1$	Hipótesis alterna	
$K_v$	Coefficiente de pérdidas a través de las ventanas	$W/^\circ C m^2$
$K_R$	Conversión de calor sensible por la radiación	
RS	Radiación solar	$W/m^2$
$R_s$	Radiación solar instantánea exterior	$W/m^2$
$T_{i+1}$	Temperatura interior en un instante siguiente	$^\circ C$

## Superíndices

Superíndice	Término
N	Exponente, potencia

## Abreviaturas

Abreviatura	Término
Fr	Frecuencia
GDL	Grados de libertad
Hr	Humedad relative



# Introducción

La horticultura y en especial la floricultura son áreas de producción que han tenido un desarrollo importante a nivel mundial en los últimos años. En Colombia, la floricultura se ha desarrollado básicamente en dos áreas geográficas, Sabana de Bogotá (Cundinamarca) y Valle de Rionegro (Antioquia), en las cuales la implementación de técnicas avanzadas de cultivo protegido ha sido común. Se estima que el área sembrada en cultivo de flores es de 7509 Ha, distribuidas de la siguiente forma, Sabana de Bogotá con una participación de 76%, Antioquia 19% y zona centro y occidente 5%, siendo las rosas el cultivo que ocupa el primer lugar seguido por claveles, crisantemos, alstroemerias y otros. En 2008 las exportaciones se calcularon en US\$ 1100 millones, siendo el principal comprador Estados Unidos con US\$ 878 millones, Europa US\$ 118 millones, otros mercados US\$ 104 millones; para el mismo año la cantidad exportada fue de 223000 ton El sector genera 219323 empleos, directos 120640 e indirectos 98683, con cubrimiento de seguridad social del 100%, donde el personal femenino representa el 60% (Floricultura Colombiana, Estadísticas 2009, 2010)

Según el informe publicado por el Departamento Nacional de Estadística (DANE, 2012<sup>1</sup>), de los US\$128,1 millones declarados en enero de 2012 por exportaciones de flores, 29,14% se había embarcado en diciembre de 2010 29,4%, en abril de 2011, 11,6% en febrero de 2011 y solamente el 1,1% en enero de 2012.

Uno de los principales aspectos en el proceso productivo de plantas ornamentales bajo invernadero lo constituye la implementación de sistemas básicos de control, debido a que existen grandes variaciones del clima durante el día y durante el año, generando problemas fisiológicos de las plantas y sobre todo, creando las condiciones para la rápida propagación de problemas fitosanitarios.

En el mercado internacional de las flores la rosa es el cultivo más dinámico, exigente y competido. En el año 2008 se exportaron 58.920 toneladas de rosas (Floricultura Colombiana, Estadísticas 2009, 2010). Entre las variedades más comercializadas se encuentra la variedad Freedom que se caracteriza por su color rojo intenso, ser fisiológicamente susceptible a cambios fuertes de temperatura y calidad de luz, lo cual se

---

<sup>1</sup>DANE. Boletín de prensa. Comercio exterior- exportaciones. 2012  
[http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol\\_exp\\_ene12.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/exportaciones/bol_exp_ene12.pdf)

ve reflejado en la calidad comercial de la flor por la presencia de blackening o ennegrecimiento del pétalo y a la alta incidencia de problemas fitosanitarios propiciados por variaciones del clima interno de los invernaderos.

Este documento destacará los aspectos más importantes en la implementación de pantallas termorefllectoras en un cultivo de rosa variedad Freedom, evaluando la respuesta de cultivo mediante la medición de variables como la humedad, la temperatura y la luminosidad.

La variedad Freedom se caracteriza por la presencia de flores rojas de botón grande, larga vida en florero y una presencia mínima de daños mecánicos durante el transporte; las plantas son robustas y resistentes a enfermedades, especialmente al mildew veloso. Su productividad se calcula aproximadamente en 1,2 tallos por planta por mes.

Como se comentó antes, el mercado de la rosa es el más dinámico y exigente y dentro de éste, las variedades de rosa roja ocupan un lugar preponderante en el surtido ofrecido al consumidor internacional; existen numerosas variedades de rosa de color rojo siendo una característica común a todas, la sensibilidad al daño en la calidad comercial causado por las variaciones de humedad y calidad de luz. Los esfuerzos de los productores para minimizar la incidencia de estos problemas son cuantiosos con resultados diversos.

La implementación de las pantallas térmicas en los cultivos bajo invernadero se ha incrementado debido a la necesidad de disminuir los costos de calefacción y a realizar un mayor control de la temperatura dentro del invernadero; se han desarrollado diferentes estudios relacionados con el tema donde se destaca el realizado por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de España (Madrid), en la tesis de Raposo & García (2004), sobre la evaluación experimental y modelización del control de la pantalla térmica en invernaderos, cuyos resultados demostraron que el uso de pantallas térmicas reduce la pérdida de energía dentro del invernadero hasta en un 20%, además de realizar un control en función de la radiación solar en diferentes épocas del año.

Por su parte, la Universidad Nacional de Rosario en Argentina, Bouzo & Favaro (2005), en una de sus publicaciones sobre climatización de invernaderos hace referencia al uso de las pantallas térmicas como un sistema pasivo para el control de bajas temperaturas, se usan en forma no permanente, se extienden durante la noche reduciendo el volumen a calentar y los intercambios de energía entre el ambiente exterior y el interior; se repliegan durante el día. Las pantallas pueden ser de plástico o de telas aluminizadas.

También se implementan para el control de altas temperaturas mediante la reducción de la radiación incidente (sombreado), su objetivo es reducir la entrada de la luz para evitar los ascensos de temperatura. El uso de pantallas térmicas aumenta de 1 a 2 °C la temperatura de las plantas y del suelo (Varela, *et al*, 2008).

## OBJETIVOS

### Objetivo general

- Determinar las ventajas de la implementación de las pantallas térmicas aluminizadas en el cultivo de Rosa (*rosa hybrida*) variedad Freedom bajo invernadero, en la Sabana de Bogotá y su incidencia en variables climáticas como temperatura, humedad relativa y luminosidad.

### Objetivos específicos

- Comprobar si el uso de las pantallas térmicas aluminizadas puede reducir el daño causado por las bajas temperaturas, verificando la calidad comercial
- Demostrar que al extender las pantallas se crea una barrera que impide la pérdida de energía por inversión térmica, generando un microclima que favorece el crecimiento y la calidad comercial de la Rosa.
- Proponer un protocolo de operación de las pantallas térmicas que sea acorde con la realidad climática de la Sabana de Bogotá.
- Determinar la reducción del uso de agroquímicos en el control de enfermedades, asociada a la implementación de la pantalla térmica.



# 1. Marco teórico

Las condiciones climáticas dentro del invernadero pueden controlarse en función del lugar donde se encuentra instalado. La implementación de equipos o mecanismos es una de las formas más eficientes de controlar el clima, su aplicación depende de la inversión que quiera hacerse y la precisión en cuanto a temperaturas requeridas se refiere. Uno de los sistemas más usados para controlar adecuadamente el clima es la pantalla térmica o termoreflexora. (Acuña, 2009)

## 1.1 Pantallas térmicas o termo-reflectoras

El término pantalla se usa para los elementos que se colocan de manera temporal sobre el cultivo, de acuerdo a decisiones que se hayan tomado en las diferentes operaciones de control climático o manejo de cultivo. Una pantalla térmica o termo-reflexora, como un elemento que extendido a modo de cubierta sobre los cultivos, tiene como principal función producir un efecto térmico, cerrar el paso a la energía infrarroja y a la vez reflejar la luz sobre el mismo. (Ubaque, 2001)

Las pantallas térmicas son telas formadas por una combinación de tejidos de poliéster dotados de una fina capa de aluminio entretejido, su objetivo principal es equilibrar la temperatura ambiente de los invernaderos manteniendo los niveles más óptimos para el cultivo. El sistema aprovecha la energía solar para retener calor en los días de más frío (Tesi, 1989), una pantalla térmica debe poseer un factor de transmisión lo más pequeño posible y un factor de reflexión lo más elevado posible en el infrarrojo medio y largo (2,5-40  $\mu\text{m}$ ).

## 1.2 Tipos de pantalla

Las pantallas pueden ser abiertas o ventiladas y cerradas o no ventiladas en lo referente al paso del aire. Las pantallas cerradas son telas formadas por láminas de aluminio y entre ellas hay filamentos de plástico transparente, que reducen al máximo el paso de aire libre entre la parte superior. Sin embargo, se dice que estas pantallas permiten que la humedad que hay abajo, cuando llega a los filamentos, ascienda por capilaridad y como la tela está más caliente que el agua en la parte superior, se produce evaporación con lo que el exceso de humedad pasa arriba de la pantalla (Varela *et al*, 2008).

Por su parte las pantallas abiertas pueden clasificadas como térmicas o termo reflectoras, de sombreado y de protección.

**Pantallas térmicas o termo-reflectoras:** son pantallas que constan de tira de película de poliéster, tiras de aluminio y filamentos para la sujeción de la estructura. Las tiras de aluminio reflejan más del 90% de la radiación solar. El número de tiras de aluminio determina la eficacia del sombreado y la capacidad de ventilación de la pantalla ya que el aire caliente fluye a través de las bandas de aluminio.

**Malla de sombreado coloreadas:** en la actualidad se han desarrollado una gama de mallas coloreadas de sombreado con propiedades ópticas especiales las cuales modifican específicamente: el espectro de la luz filtrado (en las regiones del ultravioleta, el visible o el infrarrojo), el aumento del contenido de la luz difusa y las propiedades térmicas (región infrarroja), en función de los aditivos cromáticos del plástico y del diseño de tejido. El término mallas de sombra coloreadas se utiliza en sentido amplio para incluir tanto las mallas que parecen coloreadas a ojos de las personas (por ejemplo azul, amarillo, rojo), como las mallas que no son coloreadas en apariencia aunque modifican el espectro no visible y/o incrementan la proporción de luz difusa (por ejemplo gris, aluminizada, Perla) (Varela, *et al*, 2008)

**Mallas de protección:** estas mallas permiten la creación de un microclima que favorece la productividad, calidad y homogeneidad de las plantas. Estos resultados son gracias a los siguientes efectos: efecto invernadero, cortaviento, protección contra adversidades climáticas, protección contra plagas y mayor difusión de la luz.

La diferencia entre las pantallas térmicas abiertas y pantallas de sombreado, es que las primeras producen reflexión con lo cual se presenta una disminución en la temperatura en el día, mientras que en las de sombreado, si bien no dejan pasar la luz si permiten el paso del calor, por esta razón, se recomienda utilizar más mallas blancas que negras, debido a que las blancas hacen algo de reflexión (Albaladejo, 2001).

Cuando, su uso específico es para evitar la pérdida de calor en las noches de bajas temperaturas, la pantalla es solamente térmica (sin aluminio). Si la pantalla además es reflectora (con aluminio), se puede usar en las noches como barrera para evitar la pérdida de energía por radiación infrarroja y en el día para evitar el sobrecalentamiento del cultivo. Por lo tanto, en zonas donde la temperatura diurna sobrepasa en gran parte del año los 30 °C sobre las hojas, es recomendable la utilización de pantallas termo-reflectoras, ya que ellas son capaces de reducir la temperatura hasta en un 20%. Para las noches frías, el extender la pantalla puede guardar parte de la temperatura acumulada durante el día, y en caso de utilización de calefacción, ahorrar energía.

### 1.3 Balance energético

En un invernadero la mayor parte del calor se pierde por conducción, convección y radiación, a través de los materiales de la cubierta los cuales determinan, el coeficiente de pérdida de calor. El invernadero cumple con el principio de la continuidad, si se divide el invernadero en cuatro elementos, el volumen del aire, el cultivo, el suelo y la cubierta con la estructura portante. En cada elemento se produce que la cantidad de energía ganada menos la energía de pérdida es igual a la energía acumulada (Montero, 1994).

Según Raposo & García (2004), se puede considerar que la radiación traspasa la estructura, llega a las plantas y al suelo convirtiéndose en calor que es cedido al aire del invernadero; al realizar una primera simplificación, considerando que el calor ganado por el aire del invernadero es igual a la cantidad de radiación solar que transmite la cubierta (calor sensible) menos el porcentaje de radiación solar usado en la evapotranspiración (calor latente).

En cuanto a las pérdidas de calor, se simplifica el cálculo englobando todas las transmisiones de calor por convección desde el aire a la cubierta, cubierta exterior, radiación térmica plantas-cubierta entre otras, en un único coeficiente general de transmisión de calor característico de cada material de la cubierta, a lo que se suman las pérdidas por renovación de aire. Rodríguez (2009), propone que el balance energético se puede realizar basado en las consideraciones anteriores y despreciando el calor acumulado en el aire como:

$$A_s TR_s(1-a) + Q = A_c U(t_i - t_a) + m C_p(t_i - t_a) \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

$A_s$  = Superficie del suelo ( $m^2$ )

$T$  = Transmitancia del invernadero a la radiación solar (%)

$R_S$  = Radiación solar instantánea exterior ( $w/m^2$ )

$a$  = Porcentaje de radiación usado en la transpiración (%)

$Q$  = Calor producido por el equipo de calefacción ( $w$ )

$A_C$  = Superficie de la cubierta ( $m^2$ )

$U$  = Coeficiente global de pérdidas de calor ( $w/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$t_i$  = Temperatura del aire en el interior del invernadero ( $^\circ C$ )

$t_a$  = Temperatura del aire en el exterior del invernadero ( $^\circ C$ )

$m$  = Masa de aire renovada por ventilación o infiltración ( $kg/s$ )

$C_p$  = Calor específico ( $J/kg^\circ C$ )

En la ecuación 1.1, el primer término de la igualdad corresponde a la radiación solar, la evapotranspiración y la calefacción, en el segundo término aparecen las pérdidas por convección, conducción y radiación, sumadas a la renovación del aire. Por tanto la ecuación anteriormente descrita permite establecer la relación entre el salto térmico y la tasa de renovación, una vez conocida la radiación solar y los parámetros de transmisión así como las pérdidas de calor en el invernadero. Esta relación por lo general no permite saber que ocurre cuando se añade una pantalla de sombreado a la cubierta, o cuando aumenta la velocidad del viento, puesto que el coeficiente  $U$  está definido sólo para una serie de materiales y para unas condiciones de viento ya establecidas (Rodríguez, 2009).

Para el caso nocturno, la ecuación 1.1 es modificada de la siguiente forma, con radiación solar cero:

$$Q = A_C U (T_i - T_a) + m C_p (t_i - t_a) \quad \text{Ecuación 1.2}$$

donde, el parámetro más importante es el coeficiente global de pérdidas térmicas  $U$  ( $W/m^2$ ) que incluye las pérdidas por conducción, convección, radiación y fugas.

El equilibrio energético en cualquier momento, se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$K_Q * Q + K_R * R_S - U * (t_i - t_{ext}) - K_V * (t_i - t_{ext}) = C(t_{i+1} - t_i) \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

$K_Q$  = Rendimiento efectivo de la calefacción

$Q$  = Calor aportado por la calefacción ( $W/m^2$ )

$K_R$  = Conversión de calor sensible por la radiación

$R_S$  = Radiación solar ( $W/m^2$ )

$U$  = Coeficiente de pérdidas de calor a través de la cubierta ( $W/m^2\text{°C}$ )

$K_v$  = Coeficiente de pérdidas de calor a través de la cubierta ( $W/m^2\text{°C}$ )

$t_i$  = Temperatura interior en un instante determinado ( $\text{°C}$ )

$t_{\text{ext}}$  = Temperatura exterior en un instante determinado ( $\text{°C}$ )

$C$  = Inercia térmica ( $J/ m^2\text{°C}$ )

$t_{i+1}$  = Temperatura interior en un instante determinado ( $\text{°C}$ )

En donde los aportes están producidos por la calefacción y la radiación solar, y por las pérdidas que se producen a través de la cubierta y las ventanas.

## 1.4 Estado del arte

La necesidad de modificar el clima interior en las estructuras de protección de cultivos ha sido una necesidad desde hace más de 30 años, es así como diversos investigadores han desarrollado múltiples investigaciones en torno al manejo óptimo de variables climáticas alrededor del mundo, realizando valiosos aportes al tema de la agricultura de alto rendimiento. A continuación se presenta una relación de algunos de los estudios más destacados concernientes al uso de pantallas en el contexto mundial, regional y local desde sus comienzos hasta la actualidad.

### 1.4.1 Entorno mundial

Los primeros estudios consultados se remontan a finales de la década del 70, donde se analizó el uso de barreras de diferentes materiales. Bailey (1978) encontró al evaluar pantallas de polietileno y poliéster aluminizado en cultivo de tomate, que si bien ambos

materiales presentaron alta reflectividad a la radiación infrarroja, con el uso de la pantalla aluminizada hubo una reducción del 95% en la pérdida de la radiación con un consiguiente aumento de la temperatura de la cubierta de 1 grado centígrado; así mismo, el ahorro de energía fue del 40% respecto al testigo sin pantalla y se redujo en el mismo porcentaje la fuga de aire por la cubierta manteniendo la temperatura de la pantalla por encima del punto de rocío controlando así la condensación sobre las plantas.

La implementación de barreras en las horas de la noche y la combinación de aluminio con los materiales de las mismas, aumenta la conservación de la energía disminuyendo la transferencia de calor por convección dependiendo de las propiedades del material base obteniéndose hasta un 43% de reducción en la transmisión térmica en la combinación poliéster-aluminio ganando 0,5 grados centígrados en la temperatura de la planta en relación a un invernadero sin pantalla. (Bailey, 1977)

Por su parte Christensen et al. (1978) estudiaron el efecto de la pérdida de calor y el crecimiento de las plantas bajo pantallas aluminizadas concluyendo que diversos materiales de las pantallas tienen un efecto en la temperatura de la hoja dependiendo del material en el que estén fabricadas, los materiales aluminizados mostraron un mejor comportamiento, incrementando la temperatura de 14,9°C en los invernaderos con pantallas sin tejido de aluminio a 16,8°C para las pantallas aluminizadas, además se demostró que para cada una de las 12 especies cultivadas las respuestas de la planta cambiaron favorablemente bajo las mismas.

Los estudios realizados en la década de 1980 consistieron en comprobaciones y réplicas por parte de diversos investigadores. Meijer (1980) comprobó que las pérdidas de calor en invernaderos pueden reducirse sustancialmente por el uso de cortinas reflectantes de calor; utilizando una pantalla opaca con una tasa de ventilación moderada el ahorro de energía diaria se calculó en 34%; con pantalla de 50% transparente en polietileno, el ahorro fue del 25% y finalmente con un revestimiento de aluminio protegido en la parte superior de éste, el valor aumentó a 40%.

Bailey (1981) asegura que una pantalla con una superficie de baja emisividad y la superficie superior de alta emisividad da un notable ahorro energético entre el 35 al 60 % combinado con la reducción de los problemas de condensación, además de un aumento de la temperatura mínima nocturna del invernadero entre 2 – 3 °C. Sin embargo, en otra investigación se encontró que el rendimiento de los tomates de invernaderos apantallados, era 6 – 9 % menores que los de los no apantallados el autor deduce que tal resultado se debió al cierre de la pantalla en las primeras horas del día permitiendo que el calor acumulado en la noche se escapara de manera rápida antes de lo necesario (Bailey, 1981).

Por su parte Tantau (1981) afirmó que es posible estimar el ahorro de energía de un sistema de pantalla, así como que se han desarrollado equipos para medir la transmisividad y emisividad de los materiales de la misma. También desarrolló una relación empírica entre la reflectividad del material de pantalla y el ahorro de energía con la cual determinó que la mayor transmisividad para la radiación de onda larga la tienen las películas del PE. Por último observó que en comparación a una medición similar en un invernadero productivo los valores obtenidos fueron similares a pesar que era un modelo pequeño.

Según Leroux (1984) el ahorro máximo de energía se alcanza a través de pantallas térmicas dobles reflectantes, al igual que determinó que el material base de mejor

desempeño es el poliéster gracias a sus cualidades de impregnación y su afinidad para retener la capa de aluminio. Por su parte Okada (1985) trabajó en un modelo sobre los efectos térmicos de pantallas térmicas múltiples, demostrando que la conductancia de calor del aire en el interior del invernadero redujo la radiación, no obstante, cuando se usa una película aluminizada reflectante en la capa superior, las capas suplementarias no hacen una clara mejora de eficiencia del sistema. Al comparar pantallas de PE y poliéster en invernaderos de plástico tipo túnel, los resultados mostraron que el poliéster mantuvo la temperatura 4,8 °C y el PE 2,5 °C mayor que la exterior, calculando una eficacia de la pantalla de 16% y 19,8% para el PE y pantallas de poliéster, respectivamente (Öztürk; Başçetinçelik, 2003)

Algunos estudios posteriores generaron modelos teóricos en el tema de las pantallas termorefloras tales como balances de energía nocturnos, los cuales al ser comparados con las mediciones experimentales, determinaron que para obtener datos más precisos se debe tener en cuenta el fenómeno de condensación y el modo de calefacción empleado; al mismo tiempo, a partir de simulaciones para estudiar la influencia de IR y propiedades ópticas de la pantalla evaluando las pérdidas de calor, las temperaturas internas de la superficie, se encontró que cuando un solo lado de la pantalla es aluminizado, la mayor pérdida es obtenida cuando la cara aluminizada está hacia arriba (Baille et al, 1985).

Entre otros factores modificados al implementar el uso de pantallas termorefloras, se tiene también la transpiración del cultivo. Al respecto De Graaf (1985) comprobó que la transpiración del cultivo decreció significativamente en ambientes bajo pantalla termo reflectora, siendo más visible en el periodo de crecimiento de la planta obteniendo una reducción entre 25 – 60% por metro cuadrado dependiendo del estado vegetativo del cultivo. Sin embargo, Starkey (1985) observó que en los días de alta humedad decreció la transpiración causando una reducción del tamaño del fruto y la reducción del área foliar potencial, con respecto a los invernaderos sin pantallas.

En los últimos 10 años la investigación en torno al uso de pantallas termorefloras ha continuado en algunas ocasiones realizando réplicas que permitan corroborar los resultados afinando los modelos propuestos, en otras evaluando la respuesta de cultivo o evaluando diferentes materiales a combinar con aluminio. Es así como Varela et al., (2001) concluyeron que utilizando pantallas térmicas además de reducir el gasto de combustible para calefacción entre 20 – 27% obtuvieron incrementos en la producción del orden del 25 % respecto a los invernaderos sin pantalla.

Al caracterizar espacialmente la influencia de las pantallas térmicas en el microclima bajo cubierta, el ahorro de energía y la transpiración de un cultivo, Kittas y Katsoulas (2003) evaluando a diferentes alturas la radiación neta y la temperatura de la hoja en cultivo de rosas, encontraron que la pantalla induce un microclima más homogéneo, incrementando la temperatura del aire y la temperatura de cubierta en 2,5 °C y 3 °C respectivamente. De otro lado la radiación neta se incrementó mientras que la transpiración fue similar en ambos casos, mostrando fluctuaciones cíclicas al parecer debidas a procesos fisiológicos internos en lugar de ser una respuesta a las variables microclimáticas, mientras que el déficit de aire de presión de vapor fue similar en ambos casos, así como el dosel al aire y la temperatura del punto de rocío. Por su parte Teitel et al., (2008) analizaron el efecto del calentamiento cíclico y una pantalla térmica en la pérdida de calor nocturna y microclima de un invernadero, en un cultivo de rosas observando que la pantalla térmica no redujo la pérdida de calor en el invernadero, sin embargo, a pesar de esto, se

mantuvo la temperatura de la cubierta ligeramente más alta que sin una pantalla; los autores atribuyen este comportamiento al tamaño del invernadero, cuya superficie era de aproximadamente 70m<sup>2</sup> y sólo el 20% de su superficie estaba cubierta por un material reflectante aluminizado.

El control de las pantallas ha sido otra línea de trabajo en diversas investigaciones, Raposo y García (2004) proponen el uso en función de la radiación solar en invierno y por temperatura en verano, dónde obtuvo un 20% adicional de radiación solar sobre el cultivo y menores temperaturas.

En su gran mayoría las investigaciones en torno a la utilización de pantallas térmicas han evaluado pantallas perforadas, sin embargo, el uso de pantallas térmicas, cerradas, sin huecos entre las fibras que constituyen la malla, colocadas entre el cultivo y la cubierta del invernadero también reducen la transferencia de energía por convección a través de la cubierta. Esta reducción es mayor cuanto menor es la emisividad de la pantalla a la radiación infrarroja, como ocurre en el caso de las pantallas aluminizadas; además de disminuir las pérdidas de calor y aumentar la temperatura del invernadero produce otros cambios en el microclima, como por ejemplo la disminución de la tasa de ventilación, con efectos generalmente negativos (Varela et al., 2008).

En relación a la respuesta fisiológica, algunos trabajos en ornamentales sembrados en maceta indican que plantas de Poinsettia e Impatiens Nueva Guinea bajo pantallas termorefllectoras de diferentes marcas mostraron diámetros y número de brácteas diferentes, así como algunos parámetros de crecimiento y floración según la tipología de la pantalla (Frangi et al., 2009). Al respecto Vermeulen et al., (2011) en plantas de tomate midió la temperatura de la hoja, el diámetro del tallo y el flujo de savia apreciando una absorción de agua reducida en la mañana, cuando la pantalla estaba todavía cerrada, mientras que durante las horas de la tarde no hubo diferencia en el agua de captación. Sin embargo, cuando la pantalla térmica se cerró en el tarde, las mediciones del diámetro del vástago indicaron que el almacenamiento de agua interna se restauró más rápidamente.

En cuanto al modelamiento del comportamiento de las pantallas, Andersson (2010) evaluó mediante métodos de análisis por regresión lineal pantallas de sombreado frente a las termorefllectoras encontrando que las aluminizadas reducen la radiación neta en más del 40% mientras que las de sombra entre un 10 – 30%.

Entre los más recientes estudios reportados Geoola et al. (2011) midieron el coeficiente de transferencia de calor global (valor U) para dos tipos de películas con y sin pantallas, así como con diferentes velocidades de viento y diferentes temperaturas. Se encontró que el coeficiente U se incrementa con el aumento de la diferencia de temperatura. Para una diferencia de temperatura de aire dado, el valor de U aumenta a medida que la velocidad del viento aumenta; además se encontró que el uso de una pantalla térmica reduciría el valor de U alrededor de un 50-60% mismo valor que registró el ahorro de energía (dependiendo del tipo de la pantalla térmica). Aunque hubo una gran diferencia entre los porcentajes de sombreado de las dos pantallas térmicas, la diferencia entre la U de las películas de plástico combinado y la pantalla es relativamente pequeña.

La gestión adecuada de las pantallas térmicas genera un ahorro energético sin efectos sobre la cantidad y calidad del fruto. Gili (2012) realizó pruebas en función de la luminosidad y la combinación temperatura-luminosidad observando que la gestión de

pruebas dio un ahorro de energía del 23% sin incidencia significativa en el rendimiento o la calidad de los tomates.

## 1.4.2 Entorno regional

En el entorno regional aunque se han efectuado algunos estudios aislados en países como México, Colombia, Perú y Argentina en relación con el uso de pantallas de sombreamiento y ahorro energético, se destaca el trabajo realizado en universidades y centros de investigación del Brasil quienes han venido acumulando experiencias en torno al uso de pantallas termorefloras en la zona intertropical.

Estas investigaciones han sido enfocadas a la comparación de diversos materiales de pantalla y sus efectos en relación a las variables del microclima bajo cubierta, así como el impacto en la producción de los cultivos; sin embargo la mayoría de los estudios se direccionan al sombreamiento como alternativa de control al exceso de luminosidad. A continuación se relacionan algunos de los trabajos más relevantes de la última década en la evaluación de pantallas termorefloras.

Holcman y Sentelhas (2006), evaluaron el crecimiento y desarrollo de la bromelia (*Aechmea fasciata*) bajo diferentes tipos de pantallas encontrando que las de color azul y roja proporcionaron mejoras en variables específicas de la investigación y que la termoreflora propicia el microclima más equilibrado para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, estudios realizados en el Perú evaluando diferentes tratamientos lumínicos en cultivo de lechuga, determinaron que la actividad de enzimas responsables de la acumulación de nitratos en las hojas disminuye bajo mallas de sombreamiento siendo la pantalla térmica del 50% la de menor actividad (Valverde et al., 2009)

Por su parte Leite (2008) comparó la respuesta del cultivo de lechuga al uso de diferentes porcentajes de sombreamiento con pantallas térmicas (40, 50, 60 y 70%) frente a mallas negras tradicionales (50%), estableciendo que las termorefloras del 40 y 50% presentaron las mayores diferencias en producción (menor pérdida de masa seca) y calidad con respecto al testigo mientras que la excesiva sombra (térmica 60%, térmica 70% y negra 50%) generó problemas de calidad poscosecha debido a la baja acumulación de materia seca. En esa misma línea de trabajo la evaluación de cinco variedades de lechuga en cuatro ambientes diferentes con pantalla térmica al 30,40 y 50% de sombra, estableció que el mejor resultado lo obtuvo la malla térmica al 50%, cuya producción total fue superior entre un 300 y 500% de acuerdo a la variedad en cuanto a masa fresca total (Da Costa, 2009).

Magalhaes (2009), midió la temperatura del suelo bajo coberturas de malla aluminizadas del 30, 40 y 50% frente al campo abierto observando que el uso de coberturas de mallas aluminizadas del 40% mantienen la temperatura del suelo un 9% (3,21° C) más baja con respecto al testigo. En términos de producción y calidad del cultivo de col china (*Brassica pekinensis*), al realizar una comparación entre malla negra del 30,40 y 50% y malla aluminizada con los mismos porcentajes de sombra en condiciones de invierno se encontró que la condición climática indujo a que el 61% de las plantas evaluadas florecieran, presentándose la menor incidencia de floración en las que estaban cubiertas con la malla negra de sombra de 50%. La pantalla termo reflectora del 50% de sombra presentó el segundo menor valor (Silva et al., 2011). Al respecto en un ensayo de similares características en cultivo de lechuga De Souza (2009) estableció que el uso de malla termoreflectora del 50% generó un 37,4% más de diámetro frente al cultivo a campo abierto mientras el sombreado con malla negra tradicional solamente obtuvo un 25,6%.

Investigaciones en cultivos de flores permitieron a Guiselini (2010) evaluar la incidencia del uso de pantallas térmicas de 50% de sombreado en cultivo de gérbera encontrando que se presentó mayor cantidad de yemas florales en las plantas cultivadas bajo la pantalla, conservando los mismos niveles de crecimiento, desarrollo y calidad de la planta.

### 1.4.3 Entorno nacional

En Colombia, pocos trabajos se han realizado en torno a la evaluación de pantallas termorefllectoras los cuales se han repartido entre estudios de respuesta de cultivo en tomate y flores.

Entre los primeros estudios Rodríguez y Arbeláez (1995) compararon el comportamiento poscosecha de la enfermedad causada por el hongo *Botrytis cinerea* Pers., así como el negreamiento de los pétalos en rosas cultivadas bajo invernadero variedad Eterna y Madame Delbard, quienes encontraron que el uso de la pantalla climática ocasionó una reducción del 10% en la incidencia de la enfermedad. Por su parte Acuña y Briceño (2002) encontraron que al utilizar pantallas térmicas aluminizadas con manejo de sombreado en el día se disminuyó en un 17% las temperaturas máximas respecto del testigo sin pantalla.

Cooman y Ubaque (2004) evaluaron dos tipos de pantallas térmicas (PE y Aluminizada) en cultivo de rosas concluyendo que el uso de pantallas térmicas mantuvo la temperatura 2,64 y 2,79 ° C por encima de la temperatura externa respectivamente, siendo esta última un 9% más efectiva que la pantalla de PE.

Entre los más recientes trabajos de investigación referidos al uso de pantallas termorefllectoras se destaca el estudio realizado por Gil et al., (2009) quienes evaluaron en dos localidades del departamento de Cundinamarca cultivos de tomate bajo invernadero utilizando pantallas térmicas (Aluminizada y PE) en donde mediante un

análisis de varianza ( $\alpha < 0,05$ ) se determinó que el uso de las pantallas termorefllectoras consiguió un aumento importante en la temperatura media nocturna de  $0,72\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Chía y de  $1,35\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Susa. Los autores destacan que aunque las diferencias son pequeñas, su integración a lo largo de un ciclo de cultivo genera incrementos en los grados día acumulados.

Por su parte Casierra-Posada et al., (2010) evaluaron la calidad de frutos en cultivo de tomate bajo invernadero con pantallas térmicas (Aluminizada y PE) encontrando que la cobertura termoreflectora (aluminizada) aumentó la temperatura en  $2,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  y disminuyó la humedad relativa en  $3,03\%$  frente al testigo sin cobertura. En cuanto a la calidad de los frutos el uso de la cobertura aluminizada redujo en un  $29,3\%$  el contenido de sólidos solubles totales (SST), fueron  $0,86\%$  menos ácidos (pH), perdieron  $2,47\%$  menos humedad, aumentaron  $30,66\%$  la acidez total titulable (ATT), mostraron  $51,62\%$  menor índice de madurez (SST/ATT) e indujo frutos más firmes en un  $5,01\%$  permitiendo concluir que el uso de las coberturas térmicas es positivo en el cultivo.

Uno de los objetivos de esta investigación es la realización de un protocolo de operación de la implementación de la pantalla térmica en la Sabana de Bogotá, (ver anexo D), para conocer el comportamiento del microclima en el invernadero con las condiciones ambientales específicas de la zona.



## 2. Planteamiento del problema

En la actualidad el cultivo de flores es el más tecnificado en Colombia, debido a la cantidad de exportaciones y al impacto social que ha tenido al generar empleo y capacitación. Es por ello que en los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas e implementado sistemas para mejorar la calidad de la flor, optimizar el tiempo de cultivo y cumplir con los parámetros de exportación (Anexo C).

Los sistemas de control climático ya sean manuales o automatizados, han mejorado las condiciones del microclima dentro de la infraestructura tipo invernadero, permitiendo observar de manera detallada el comportamiento de variables como temperatura, humedad relativa, luminosidad y la relación que existe entre ellas; de esta manera y realizando registros permanentes de estas variables se han obtenido excelentes resultados que pueden establecer procedimientos para el manejo de la ventilación, la calefacción entre otros. Estos efectos positivos han impulsado a los productores a ser más abiertos a la implementación de nuevos sistemas.

Una de las tecnologías que más se ha estudiado y desarrollado en España y Brasil, es el de las pantallas térmicas. En España según resultados experimentales se demostró que usando la pantalla en invierno se reducía en un 20% la pérdida de energía y su uso en verano disminuía la temperatura máxima exterior en torno a 3°C (Raposo & García, 2004).

Siendo las condiciones geográficas y climáticas diferentes en la Sabana de Bogotá, es necesario investigar las pantallas térmicas en el cultivo de rosas para establecer cómo se comportan ante variables, tales como: la temperatura, humedad relativa y luminosidad.

La radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) promedio, para invernaderos en la Sabana de Bogotá tiene un comportamiento promedio similar en el rango de 1000 y 1200  $\mu\text{mol/s/m}^2$ . Dentro de los invernaderos, la tasa promedio de transmisión de radiación del plástico está cercana al 70%, sin embargo, se muestra una gran irregularidad en esta transmisión de luz, debido al tipo de plástico, a la edad y a la limpieza del mismo. En cuanto a la relación de la radiación PAR externa y la temperatura promedio de los invernaderos, se observó que a medida que se va incrementando la radiación durante el día, se va dando rápidamente un calentamiento dentro de los invernaderos. En la tarde, la radiación empieza a disminuir gradualmente mientras que la temperatura de los invernaderos se mantiene unas horas para luego empezar a disminuir. (Monroy, et al, 2000).

El uso de pantallas aluminizadas o de colores no es algo masificado porque a pesar de las ventajas de Bogotá en cuanto a Temperatura y Humedad Relativa, son muy desfavorables en cuanto a intensidad lumínica; corpoica reporta menos de 5,5 hrs de brillo solar al día (Galindo & Clavijo, 2009). La operación de un conjunto de pantalla térmica en las condiciones de Sabana de Bogotá, requiere de un estudio profundo de sus características climáticas para así proponer un sistema de operación que sea acorde con las necesidades y sea rentable económicamente.

El estudio de la implementación de esta tecnología en plantaciones de gran valor económico, se justifica en el sentido de que se pueden cultivar variedades en condiciones óptimas lo que puede generar aumentos de producción debido a la reducción de problemas fitosanitarios y a la mejora de la calidad de los tallos producidos, en el caso de rosas.

### 3. Metodología

En el estudio se realizó el análisis de la implementación de una pantalla térmica aluminizada en el cultivo de rosa variedad Freedom bajo invernadero en el 2008. La componente experimental se llevó a cabo en dos invernaderos del tipo tradicional colombiano, pertenecientes a la empresa agrícola El Redil, ubicada en el municipio de Cajicá Cundinamarca, a los 4°54'57,63" grados de latitud norte, 74°00'59,11" grados de longitud oeste y elevación 2557msnm, como se muestra en la imagen 3-1. En la actualidad el terreno en el cual se llevó a cabo la investigación se ha modificado por los propietarios para ser urbanizado.

**Imagen 3-1:** Ubicación de los invernaderos



Fuente: Tomado aplicación google earth<sup>2</sup>

El invernadero, que fue tomado como testigo (sin pantalla), tiene un área de 1893 metros cuadrados (m<sup>2</sup>), con altura a nivel de canal de 3,0 metros y de cumbrera de 5,2 metros en sus pórticos extremos o cerchas de culata. Su estructura está compuesta por pilares o

---

<sup>2</sup><http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>. Recopilado en junio de 2012.

columnas metálicas con estructura de cubierta o cercha de madera tradicional, conformando 3 naves de 6,8 metros de ancho y 4 metros de espaciamientos entre pórticos longitud. El material de cubierta es una película transparente coextruida de polietileno de baja densidad aditivada con absorbedores de ultravioleta y productos estabilizantes de última generación los cuales le permiten bloquear el paso de la radiación hasta 380 nm, fabricada por un proveedor local.

El segundo modelo correspondiente al ensayo, tenía un área de 1417 metros cuadrados ( $m^2$ ), altura a nivel de canal de 2,9 metros y de cumbre de 5,1 metros. Su estructura estaba compuesta por pilares metálicos con estructura de cubierta o cercha de madera, conformado por 3 naves de 6,8 metros de ancho y 68 metros de longitud. El material de cubierta es idéntico al del invernadero sin pantalla.

Los dos invernaderos contaban con doble línea de riego por goteo, el sistema de siembra era de doble línea con separación entre plantas de 15 cm, con cuatro camas por nave, con una densidad de siembra de 3200 plantas por nave.

Este modelo fue implementado con una pantalla aluminizada, con las siguientes características:

- Óptima transmisión de luz difusa
- Aluminizada: 50%
- Porcentaje de sombra: 49-53 (%)
- Peso: 58-60  $gr/m^2$
- Tamaño del orificio: (2,5 ancho\* 10 alto) mm
- Resistencia a la ruptura 4,5 – 4,9  $Kg/cm^2$
- Ancho máximo: 8,4 m

La pantalla se ubicó a 2,9 m del suelo permitiendo de esta forma la correcta circulación del aire como se muestra en la imagen 3.2.

**Imagen 3.2:** Pantalla térmica extendida horizontalmente



Fuente: El autor.

La pantalla se extendió hasta quedar completamente plana y paralela al suelo, el cierre se realizó mediante pliegues como se observa en la imagen 3-3, quedando estos pliegues al lado de la línea de postes o limatones que separan cada una de las naves que conforman el invernadero.

**Imagen 3-3:** Pantalla recogida.



Fuente: El autor.

Se implementó un sistema de transmisión de movimiento a la pantalla mediante alambre calibre 10 el cual suministró soporte a los conectores de plástico que la mantenían en su posición (extendida o recogida). Adicionalmente se usó, un cable de nylon recubierto con algodón (polycien®), extendido transversal y longitudinalmente bajo la pantalla, dándole forma (evitando escurrimientos por peso) y permitiendo recogerla y extenderla al enrollarse en el eje central (tubo de empuje o retracción). El eje central está conformado por un tubo de una (1) pulgada de diámetro en acero galvanizado, soportado en cada uno de los limatones de un lateral del invernadero.

Se instaló un sistema de tracción accionado por un malacate ubicado en el exterior del invernadero. El movimiento de rotación que el malacate transmite a la barra de mando a través de cadena y piñones, se convierte en movimiento longitudinal mediante un sistema de cuerdas y poleas. El accionamiento del malacate produce el giro del eje de mando enrollando el nylon, que se desliza sobre las poleas y comunica el movimiento a todas las cuerdas de arrastre de los diferentes paños o mallas dentro de cada sección del invernadero.

Debido a la conformación geométrica de los invernaderos tradicionales colombianos, se logró apreciar que una de las dificultades que surgen a la hora de instalar este tipo de pantallas de sombreado o termorefllectoras, es la altura de la nave en los extremos o culatas del invernadero, porque en algunos casos no supera los 2 m sobre el nivel del suelo (aspecto que se ha venido modificando para los diversos modelos estructurales en

los últimos años). Esto puede generar problemas asociados a daño mecánico en los tallos de las rosas porque estos alcanzan a entrar en contacto con la pantalla y el roce permanente puede afectar la calidad comercial de la producción.

El sistema de operación de la pantalla fue manual y móvil lo que permitió la apertura y cierre de la misma, operándose extendida en el intervalos comprendido entre las 18:00 hasta las 7:00 del día siguiente, hora en la cual se recogía hasta las 18:00 del mismo día. Cuando las condiciones climáticas lo exigían, la pantalla se extendió en horario diurno durante las horas de mayor luminosidad y calor. Como este es un primer acercamiento a la tecnología, se buscó un sistema móvil manual lo más eficiente posible el cual debía estar en capacidad de ser usado por cualquier operario de la plantación, previa capacitación mediante protocolo de operación. El sistema escogido es un sistema móvil usado ampliamente para el movimiento de cortinas laterales en los invernaderos tradicionales colombianos.

Las mediciones se realizaron para un ciclo de producción comprendido entre los meses de septiembre y noviembre de 2008. Se tomaron medidas de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (%) y luminosidad ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), a través de datalogger marca HOBO ubicados a una altura de 1,5 m sobre el nivel del terreno. En cada invernadero se colocó un equipo de medición, a fin de recopilar información confiable de las variables a estudiar. Los datos fueron tomados cada 15 minutos, las 24 horas del día durante el período de medición, ver anexo A.

Los equipos fueron previamente patronados para evitar desviaciones en las lecturas. Los datos fueron descargados periódicamente para ser analizados posteriormente mediante el paquete estadístico XLSTAT, que permitieron graficar y visualizar los datos climáticos capturados (temperatura, humedad relativa y luminosidad), como promedios diarios, semanales y mensuales.

Para el seguimiento de las variables de crecimiento y producción se realizó un diseño experimental mediante bloques aleatorios al azar, donde para cada una de las unidades experimentales se tomaron ocho (8) bloques, con áreas de 3m x 1m. Para cada bloque se marcaron 20 tallos a los cuales se les realizó un seguimiento de crecimiento, durante todo el ciclo de producción, para un total de 160 plantas por cada unidad experimental, como se ve en la imagen 3-4. Las variables que se tuvieron en cuenta para el estudio de calidad fueron: altura de las cabezas, diámetro de botón, diámetro y largo de los tallos, así como también se realizó el seguimiento de las actividades de control químico a fin de relacionar el uso de productos químicos con las condiciones ambientales en cada uno de las unidades experimentales (invernadero con pantalla, invernadero sin pantalla). Para realizar estas mediciones se contó con calibradores, flexómetros, estudio de imágenes y evaluaciones objetivas de personal capacitado en la poscosecha del cultivo y del área de sanidad vegetal.

**Imagen 3-4:** Seguimiento del crecimiento

Fuente: El autor

Los datos climáticos de cada invernadero fueron recopilados semanalmente para ser sometidos a un análisis estadístico mediante el software XLSTAT 7.5.2 que permitiera realizar la comparación entre los dos modelos de invernadero.



## 4. Análisis de resultados

Las pruebas de campo realizadas a lo largo de la investigación tienen como objetivo mostrar los beneficios de la implementación de pantallas térmicas en cultivos bajo invernadero. Es conveniente resaltar que los datos fueron recopilados durante tres meses y que los equipos de medición registraban datos cada 15 minutos.

### 4.1 Análisis estadístico

Para lograr el objetivo se recurrió a pruebas estadísticas no paramétricas. Lo anterior debido a que los supuestos de normalidad no fueron aceptados, como se tiene en la estadística paramétrica, en la que se aspira encontrar en las características de la muestra que ha seleccionado, aquellas que distinguen a la población de donde ésta procede.

Se presentan dos alternativas: estimar el valor de un parámetro a partir de la muestra, ó contrastar si la hipótesis es confirmada en la muestra. Esto se logra poniendo a prueba la hipótesis de las diferencias nulas ( $H_0$ ), la que de no confirmarse se explica por la hipótesis alterna ( $H_1$ ), que acepta que esas diferencias existen dentro de cierto margen de probabilidad: cuando son significativas (a nivel de una  $p < 0.05$  o  $< 0.001$ ) se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (Mendenhall & Beaver, 2006).

El sistema de hipótesis estudiado fue el siguiente.

$$H_0: \mu_0 - \mu = 0$$

$$H_0 = \text{Temperatura Sin pantalla} - \text{Temperatura Con pantalla} = 0$$

$$H_0 = \text{Humedad Relativa Sin pantalla} - \text{Humedad Relativa Con Pantalla} = 0$$

$$H_0 = \text{Luminosidad Sin pantalla} - \text{Luminosidad Con pantalla} = 0$$

Existen dos tipos de errores: el tipo I, es rechazar la hipótesis nula siendo esta verdadera y tipo II es aceptar la hipótesis nula siendo esta falsa. Para disminuir el riesgo del error tipo I en una prueba se trabaja con un  $\alpha$  previamente seleccionado; en este caso para

rechazar o aceptar la hipótesis nula se trabajó con  $\alpha = 0,05$ , es decir, se trabajó con una confiabilidad del 95% que permite inferir que, de un número considerable de pruebas tan solo un  $\alpha$  presentaran un error de tipo I. Toda prueba estadística que se realiza es rechazada cuando el valor de  $\alpha$  es mayor a la ~~estadística~~ estadística de prueba. Se empleó el paquete estadístico XLSTAT 7.5.2, el cual se utilizó para realizar el análisis exploratorio de los datos y las respectivas pruebas anteriormente planteadas.

En este caso, la determinación de la incertidumbre expandida de la estimación del mensurando, se obtiene haciendo uso de una estadística, cuya distribución se desconoce, pero se aproxima por una distribución t de Student, en la que el número de grados de libertad se obtiene, de acuerdo con la recomendación de la guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM), utilizando la aproximación de Satterthwaite.

El t observado, corresponde a restar la media poblacional de la media muestral y dividir entre el error estándar de la media. El término (GDL) se refiere al número de valores que son libres de variar una vez que se han impuesto ciertas restricciones a los datos. El término t crítico está establecido en tablas que se encuentran en los libros de estadística y se determinan por medio de los GDL y los niveles de significancia  $\alpha$ . Un p es la probabilidad, calculada al asumir que  $H_0$  es cierta, de que la estadística de prueba tome valores tan extremos o más extremos que los calculados con la muestra.

Como se observa en la tabla 4-1, al comparar el valor del t observado con el valor crítico, se observa que el t observado excede al valor crítico, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con lo cual se concluye que hay diferencia significativa en los datos de temperatura.

**Tabla 4.1:** Pruebas de medias de temperatura entre los invernaderos

Varianzas	t observado	Método	GDL	t crítico	Pr >  t
Desiguales	4,479	Satterthwaite	8229,100	1,960	< 0,0001
Igual	4,479		8254	1,960	< 0,0001

Siguiendo el mismo análisis anteriormente descrito se realizó la tabla 4-2, pues en los demás casos los valores de la estadística de prueba son menores a 0,05

Al comparar en la tabla 4-2 el valor del t observado, con el valor crítico se observa que, el t observado excede al valor crítico, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con lo cual se concluye que hay diferencia significativa en los datos de humedad relativa.

**Tabla 4.2:** Pruebas de medias de humedad relativa entre los invernaderos

Varianzas	t observado	Método	GDL	t crítico	Pr >  t
Desiguales	-4,254	Satterthwaite	8218,289	1,960	< 0,0001
Iguales	-4,254		8254	1,960	< 0,0001

Al observar la tabla 4-3, el valor del t observado, con el valor crítico se observa que, el t observado excede al valor crítico, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con lo cual se concluye que hay diferencia significativa en los datos de humedad relativa.

**Tabla 4.3** Pruebas de medias intensidad luminosa entre los invernaderos

Varianzas	t observado	Método	GDL	t crítico	Pr >  t
Desiguales	4,284	Satterthwaite	8096,166	1,960	< 0,0001
Iguales	4,284		8254	1,960	< 0,0001

En las tablas 4-1 hasta la 4-3, se muestra que las dos estadísticas de prueba son menores que el  $\alpha$  empleado, de esta forma se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, la cual indica que existen razones suficientes para señalar que existen diferencias significativas entre la temperatura y la humedad relativa de los dos invernaderos en estudio.

Si se observan los resultados que arroja el programa, el t observado es muy superior al t crítico con una cantidad de grados de libertad suficientes para que se pueda concluir que existen diferencias significativas entre las muestras analizadas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el cálculo de la estadística descriptiva, en la tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Estadísticas descriptivas.

Variable	Media	Mediana	CoefVar	Minimo	Maximo	Asimetría	Kurtosis
Nocturno Ensayo							
Temp	11.238	11.38	14.28	6.22	15.23	-0.24	-0.29
HR	91.199	91.6	4.38	66.9	98.3	-1.22	3.13
ILum	3.594	2	154.38	2	129	13.25	234.94
Diurno Ensayo							
Temp	23.218	22.86	35.03	7.03	49.56	0.42	-0.44
HR	55.755	52.75	38.56	23.9	98.2	0.28	-1.16
Ilumn	571.56	725	62.61	2	903	-0.47	-1.46
Nocturno Testigo							
Temp	10.739	10.99	14.67	6.22	15.23	-0.2	-0.19
HR	94.742	94.5	4.59	66.2	100	-1.82	4.68
Ilum	2.9308	2	108.15	2	53	9.16	108.1
Diurno Testigo							
Temp	22.212	21.71	35.16	6.62	47.43	0.37	-0.54
HR	56.643	52.5	40.9	23.9	100	0.35	-1.14
Ilum	510.64	702.5	59.28	2	774	-0.58	-1.34

Al observar en conjunto toda la información que contiene la tabla anterior, se observa en primera instancia la variabilidad que tiene el clima dentro de un invernadero; los cambios abruptos de las variables climáticas someten a las plantas a un estrés, que puede afectar el normal desarrollo fisiológico. Durante el día la planta experimenta cambios en la temperatura que pueden ir desde los 6°C hasta más de 30°C (según los datos recopilados).

En cuanto a los datos obtenidos de la humedad relativa, esta puede pasar de saturado (100%) hasta muy seco (24%). La combinación de estos factores genera el caldo de cultivo ideal para la propagación de plagas y enfermedades. En la revisión de estos guarismos se encuentra la plena justificación de la implementación de un sistema de control climático.

Una de las limitantes apreciadas en el ensayo es que la operación del sistema móvil es manual y el criterio de operación no está fundamentado en la lectura de datos sino en el criterio del operario cuando observa que la temperatura llega al límite establecido. Por esta razón, los resultados diurnos de la pantalla son menos diferentes con respecto al testigo. Cuando se automatice este procedimiento las diferencias diurnas serán más evidentes.

Los resultados de estas variables micro climáticas justifican el uso de sistemas de control que contribuyan a mantener el cultivo en las mejores condiciones para así maximizar la producción y la calidad.

Al observar los resultados obtenidos en el análisis de temperatura en la tabla 4-5, se puede notar que el uso de la pantalla térmica, permite capturar más calor durante la noche adentro del invernadero, lo que se ve reflejado en la temperatura media la cual es superior al testigo. Entonces el perfil de temperatura va a ser más suave proporcionando una mejor condición para el desarrollo fisiológico del cultivo. Esta condición climática permite que las plantas mantengan su follaje seco durante la noche, evitando la incidencia de plagas y enfermedades. Además permite que el proceso de fotosíntesis inicie desde la primera hora del día al no tener que usar energía de la planta para secar el follaje; esto se evidencia en el rápido aumento de la temperatura durante el día (temperatura mínima diurna).

El follaje de las plantas está compuesto de agua en su mayor proporción y este cuerpo no es buen conductor del calor, lo que significa que el follaje se calienta o enfría con mucha lentitud. Si proporcionamos unas condiciones en las cuales el proceso sea de extremos, la planta va a consumir mucha de su energía y tiempo secando y calentando el follaje. Por el contrario; si el follaje no baja mucho de temperatura durante la noche, no se va a condensar agua en las hojas y el proceso de fotosíntesis se iniciará desde la incidencia del primer haz de luz maximizando la producción de azúcar y el crecimiento.

**Tabla 4-5:** Estadística descriptiva, temperatura:

Temperatura							
Variable	Media	Mediana	CoefVar	Minimo	Maximo	Asimetría	Kurtosis
Noct Ensayo	11.238	11.38	14.28	6.22	15.23	-0.24	-0.29
Noct Testigo	10.739	10.99	14.67	6.22	15.23	-0.2	-0.19
Diur Ensayo	23.218	22.86	35.03	7.03	49.56	0.42	-0.44
Diur Testigo	22.212	21.71	35.16	6.62	47.43	0.37	-0.54

Por otro lado, en el caso de la rosa variedad Freedom los cambios de temperatura entre el día y la noche pueden generar la sobre producción de antocianinas, hecho que es conocido como el fenómeno de negreamiento (blackening) el cual es indeseable en términos de calidad comercial.

Durante el día, si se sobrepasa la temperatura máxima fisiológica del cultivo, la planta de rosa va a detener su proceso fisiológico, cerrando sus estomas y consumiendo agua para evitar la deshidratación. Esta situación detiene la producción del cultivo y por supuesto se debe evitar lo más posible. En el reporte de temperaturas, se observan valores máximos

que justifican el uso diurno de la pantalla. De otro lado, los resultados de la asimetría demostraron que para los dos invernaderos en el periodo nocturno, los valores de la temperatura estuvieron siempre por debajo de la media, mientras que para el periodo diurno se observó que el invernadero ensayo obtuvo más valores por encima de la temperatura media con respecto al invernadero testigo.

En cuanto al coeficiente de Curtosis para los dos periodos de tiempo y en los dos invernaderos, los valores fueron negativos. Es decir que se trata de una distribución platicúrtica, con una reducida concentración alrededor de los valores centrales.

Respecto al análisis de humedad relativa, que es una variable fundamental en términos de sanidad vegetal ya que es la responsable de permitir o no las condiciones necesarias para la expansión de plagas y enfermedades, es común apreciar que las variaciones extremas de esta variable son muy frecuentes en los invernaderos.

En la observación de la tabla 4-6 se encontró que, en horario nocturno, el máximo observado de HR en el ensayo fue menor en 3 puntos porcentuales al testigo y el máximo absoluto del invernadero no llegó a saturación (100%). De la misma forma, el comportamiento del máximo diurno, que por lógica es la continuación de las condiciones nocturnas, fue similar en ambos ambientes, de lo que podemos concluir que en el invernadero testigo se llegó por lo menos durante dos horas a condiciones de condensación de agua en el follaje con las consecuencias fisiológicas y de sanidad que esto puede acarrear.

**Tabla 4-6** Estadísticas descriptivas, humedad relativa:

Humedad Relativa							
Variable	Media	Mediana	CoefVar	Minimo	Maximo	Asimetría	Kurtosis
Noct Ensayo	91.199	91.6	4.38	66.9	98.3	-1.22	3.13
Noct Testigo	94.742	94.5	4.59	66.2	100	-1.82	4.68
Diur Ensayo	55.755	52.75	38.56	23.9	98.2	0.28	-1.16
Diur Testigo	56.643	52.5	40.9	23.9	100	0.35	-1.14

El hecho de tener una temperatura un poco más alta en el invernadero ensayo trae como consecuencia que el aire tenga una mayor capacidad de absorción de vapor de agua lo que se refleja en menores valores de humedad relativa nocturna.

La situación de que en el invernadero testigo no se haya llegado a saturación de la humedad relativa, combinado con una temperatura media más alta, proporciona mejores

condiciones para el control de enfermedades de origen fúngico y desordenes fisiológicos como el negreamiento.

Si se observa con detenimiento la tabla 4-6, las variaciones de humedad relativa en el invernadero testigo son mayores durante todo el día. Por otra parte, la prueba de asimetría indica que los valores de las mediciones nocturnas, siempre estuvieron por debajo de la media, y la frecuencia de datos por debajo de la media fue más alta en el invernadero testigo. En cuanto al comportamiento diurno se observó que la asimetría es mayor en el invernadero testigo, es decir que se presentaron más valores por encima de la media con respecto al invernadero ensayo. Lo anterior puede llevar a inferir que el uso de la pantalla térmica controla la humedad relativa.

En el comportamiento nocturno se obtuvo un coeficiente de Curtosis positivo lo cual hace que sea una distribución leptocúrtica, presentando un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la HR. Para el periodo diurno el coeficiente de Curtosis fue negativo, es decir que se trata de una distribución platicúrtica, con una reducida concentración alrededor de los valores centrales.

En primera instancia, se debe comentar que el equipo de medición usado no debió haber registrado datos de luminosidad en la noche ya que el cultivo de rosas en Colombia no requiere de luz suplementaria. Estos datos se registraron por la cercanía de viviendas a la finca ya que se encuentra en una zona sub urbana, esta situación hace que se presenten valores para la luminosidad en la noche cuando estos debieron ser registrados como cero (0). La prueba de asimetría para el comportamiento diurno indica que los datos de luminosidad en el invernadero ensayo estuvieron más cerca de la media que los del invernadero testigo, como se observa en la tabla 4-7.

**Tabla 4-7:** Estadísticas descriptivas, luminosidad:

Luminosidad							
Variable	Media	Mediana	CoefVar	Minimo	Maximo	Asimetría	Kurtosis
Noct Ensayo	3.594	2	154.38	2	129	13.25	234.94
Noct Testigo	2.9308	2	108.15	2	53	9.16	108.1
Diur Ensayo	571.56	725	62.61	2	903	-0.47	-1.46
Diur Testigo	510.64	702.5	59.28	2	774	-0.58	-1.34

Revisando los resultados obtenidos en el horario diurno se observa la normal variación de la luminosidad durante el día. El invernadero ensayo aportó mayor luminosidad a pesar de tener un elemento adicional que proporciona sombra. Para el periodo diurno el coeficiente de Curtosis fue negativo, es decir que se trata de una distribución platicúrtica, con una reducida concentración alrededor de los valores centrales. Los resultados de las pruebas de normalidad se presentan en el anexo B.

## **4.2 Análisis de parámetros climáticos**

Gracias a la recopilación de datos por medio del equipo HOBO, se pudo realizar un análisis detallado de las variables: temperatura, humedad y luminosidad, a continuación se presentan los resultados.

### **4.2.1 Análisis de temperatura**

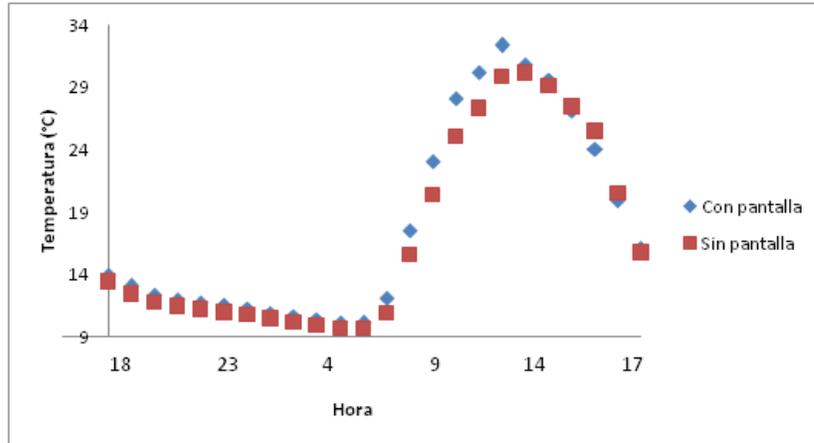
En el gráfico 4-1 se observa el comportamiento de la temperatura interior tanto para invernadero ensayo (con pantalla), como para el invernadero testigo (sin pantalla), en un periodo de 24 horas. El periodo se determinó mediante el promedio de temperaturas para cada hora del día, durante el todo el tiempo que se implementó la pantalla, la cual se extendía en el periodo comprendido entre las 18:00 y las 7:00 horas del día siguiente.

Teniendo en cuenta la gráfica 4-1, a primera vista se observa que en el invernadero donde se implementó la pantalla se presentaron valores más altos en las horas de la noche y la madrugada, lo que representa una menor pérdida energética en el invernadero con pantalla. Los valores inferiores de temperatura se obtuvieron hacia las 5:00 a.m. para los dos invernaderos. En el invernadero con pantalla la temperatura promedio a esta hora fue de 10,06°C y en el invernadero sin pantalla 9,6°C. El comportamiento general de la temperatura durante las horas que está extendida la pantalla, presento como resultado, un promedio superior de 0,66 °C para el invernadero con pantalla, con respecto al invernadero sin pantalla, lo cual acerca el valor de la temperatura del invernadero con pantalla, a la temperatura ideal para un cultivo de rosas la cual según la revisión bibliográfica debe oscilar entre 14 a 16 °C.

Aun así incrementando la temperatura promedio en 0,66°C, no se llega al esperado según la bibliografía citada que es un aumento de 2 a 4°C, cuando se implementan las pantallas térmicas en los invernaderos. Una recomendación para aumentar dicho valor sería aumentar el tiempo en el cual dura extendida la pantalla en la tarde, es decir abrirla

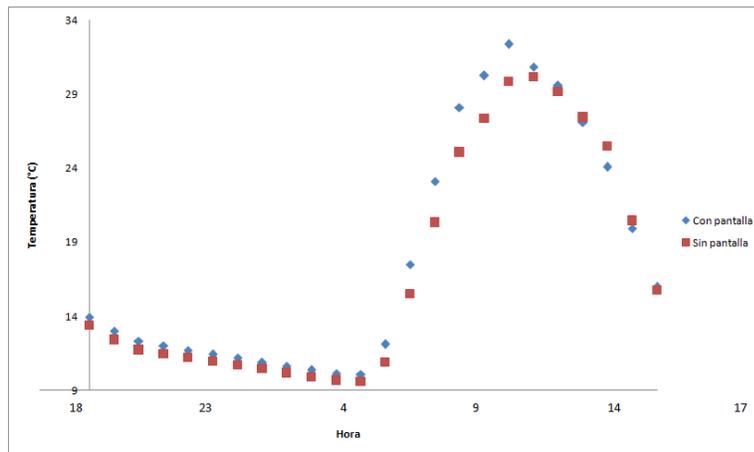
más temprano, evitando la dispersión de la energía térmica acumulada durante el tiempo que la pantalla permanece cerrada.

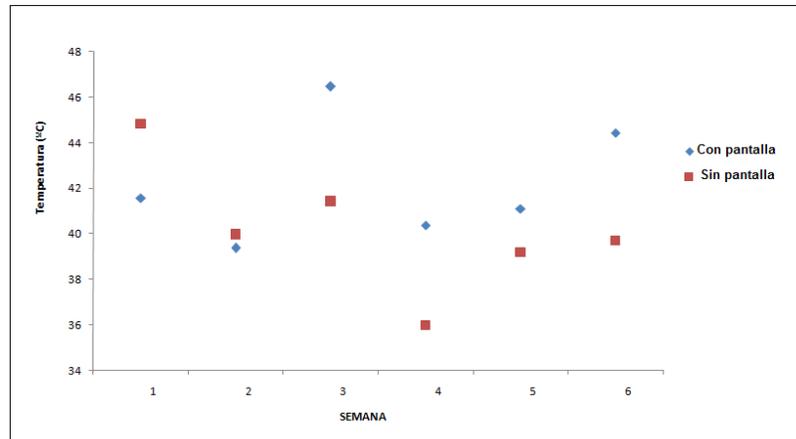
**GRÁFICO 4-1** Comparativo de temperaturas diarias



En el gráfico 4-2 se observa el acumulado semanal promedio para la temperatura interna del invernadero ensayo y el testigo. Se aprecia que durante las horas que se encuentra extendida la pantalla (18:00- 7:00), la temperatura es mayor en el invernadero ensayo. La temperatura mínima promedio en el invernadero ensayo se registró a las 6:00 a.m., con un valor de 10,02°C en esta misma hora para el invernadero testigo se registró 9,59°C una diferencia de 0,43°C, la diferencia en promedio de las temperaturas fue de 0,58°C. En este punto vale la pena resaltar que la temporada de lecturas para la investigación implementando el sistema de pantalla térmica móvil coincidió con la época de verano en la sabana de Bogotá, temporada durante la cual se observan extremos importantes de temperaturas máxima y mínima. Desafortunadamente para el objetivo del ensayo, (felizmente para el productor), el verano fue poco pronunciado.

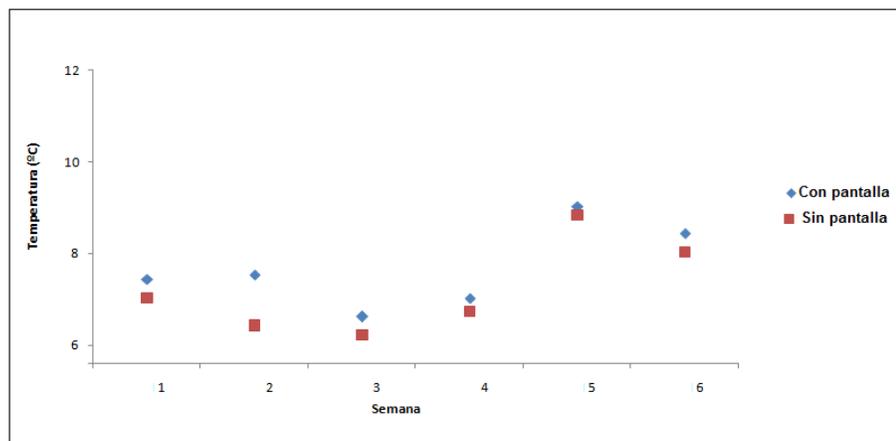
Debido a que la apertura de la pantalla era manual, se presentaron problemas de logística con el horario en el que duraba extendida la pantalla, las condiciones climáticas sumadas a los problemas de logística hacen que el incremento de la temperatura en el interior del invernadero con pantalla sea levemente mayor que el invernadero testigo, sin embargo, se observa el comportamiento esperado del clima bajo la pantalla temperaturas más altas durante la noche favoreciendo la sanidad vegetal y mayor espacio para fotosíntesis durante el día, suavizando el periodo de calor fuerte. Esta combinación de factores da como resultado beneficios en la producción y calidad del cultivo.

**GRAFICO 4-2** Comparativo de temperatura semanal

**GRAFICO 4-3** Comparativo de temperaturas máximas semanales

Analizando el gráfico 4-4 se observa que el gradiente de temperatura en el invernadero sin pantalla posee las menores temperaturas, es decir que en el invernadero con pantalla, el ambiente es más confortable para el cultivo de las rosas y ayuda a prevenir la incidencia de enfermedades fungosas en las plantas. Oscilando la diferencia entre los 0-0,81°C; acercando las temperaturas promedio del invernadero con pantalla a la óptima para el cultivo de rosas. En el invernadero con pantalla la temperatura mínima nunca descendió por debajo de los 7°C mientras que en el invernadero sin pantalla la mínima fue de 6,22°C.

Las diferencias de temperatura extremas, en caso específico del verano de la Sabana de Bogotá en donde en el día las temperaturas son altas y en la noche pueden llegar bajo cero, pueden justificar una inversión en la implementación de un sistema de control climático mediante el uso de pantallas térmicas, el cual puede realizar un descenso más lento de la temperatura en el interior del invernadero.

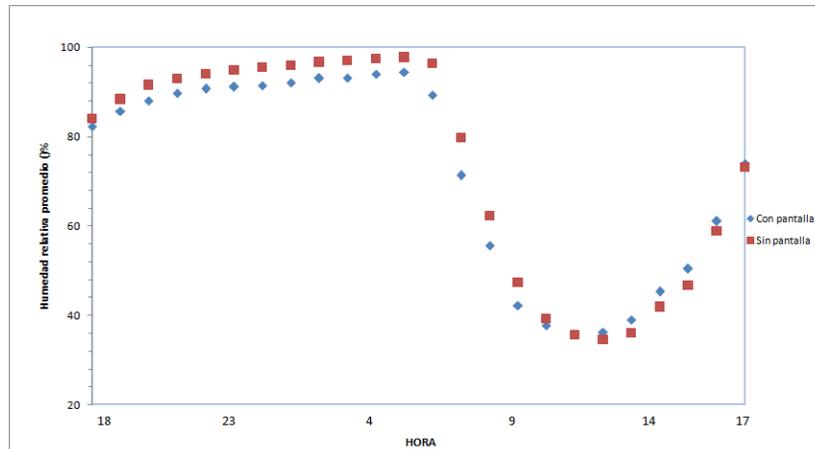
**GRAFICO 4- 4** Comparativo de temperaturas mínimas semanales

### 4.2.2 Análisis de la humedad relativa

El gráfico 4-5 representa el comportamiento de la humedad relativa dentro de los invernaderos. Esta gráfica se obtuvo promediando, los datos obtenidos con el data logger para cada hora del día.

Se observa que en las horas de la noche la humedad relativa es menor en el invernadero con pantalla. Este beneficio sumado a un aumento de temperatura con respecto al invernadero sin pantalla hace que se propicie un mantenimiento de mejores condiciones durante la jornada nocturna, puesto que al mantener una temperatura mínima superior, la capacidad de retención de vapor de agua del aire aumenta. Además se disminuye la condensación en las hojas, lo cual se traduce en beneficios para el follaje. Mientras más bajos sean los valores de la humedad relativa, menor es la actividad de bacterias y microorganismos nocivos para el cultivo. El efecto diurno de una menor humedad relativa es el aumento de la capacidad fotosintética, puesto que la planta no tiene que perder energía secando el follaje en la mañana.

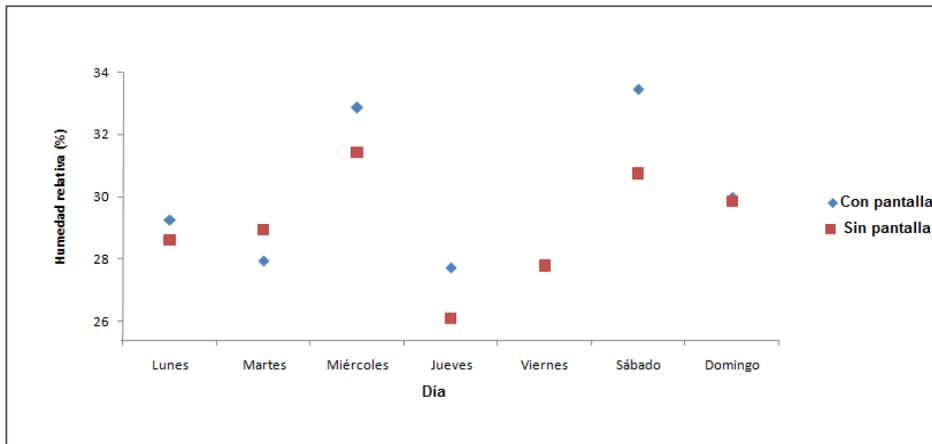
La diferencia entre la humedad relativa del invernadero con pantalla y el invernadero sin pantalla pudo haber sido más representativa, si las condiciones de instalación de la pantalla térmica no hubiesen dejado traslapes ni espacios. También afectaron las condiciones del verano para la época que se tomaron las lecturas.

**GRÁFICO 4-5** Comparativo de humedad relativa diario

Analizando el gráfico 4-6 se observa que el invernadero ensayo presenta menores valores para la humedad relativa interna. En el invernadero ensayo se registró un valor de Humedad relativa mínimo de 34,63% a las 12:00 horas, mientras que para el invernadero testigo el menor valor se registró a las 11:00 y fue 35,55%.

La gráfica de humedad relativa semanal corrobora lo observado con el comportamiento diario en el segmento correspondiente a la noche, en el cual es clara la diferencia a favor del uso del sistema puesto que el mantener mejores condiciones de temperatura, implican óptimas condiciones de humedad relativa para el cultivo redundando en beneficios en el manejo fitosanitario y en rendimiento fisiológico.

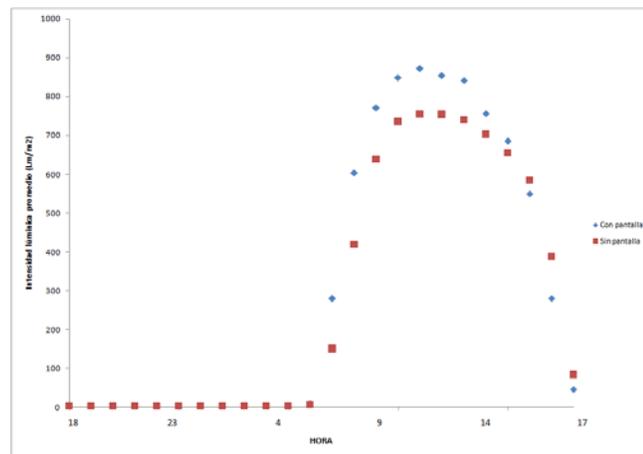
Con el poco uso diurno que se logró tener en la temporada de toma de datos, el análisis de la presente grafica permite inferir que en temporadas o regiones de calor extremo este sistema produce beneficios en el sentido de permitir a las plantas realizar fotosíntesis por un mayor tiempo, logrando que el proceso de fotosíntesis no se detenga por situaciones de estrés por calor.

**GRAFICO 4-6** Humedad relativa diaria mínima

### 4.2.3 Análisis de luminosidad

En el gráfico 4-7 se representó el parámetro de la intensidad luminosa, utilizando los promedios de cada hora durante el transcurso de la investigación. Se observa que el comportamiento nocturno de los dos invernaderos es igual a cero, debido a la falta absoluta de luz, como era de esperarse. En el cultivo de la rosa no es necesario hacer operaciones nocturnas ni aplicar dosis suplementarias de luz, como es común en otro tipo de cultivos florales.

En el intervalo comprendido entre las 5:00 y 17:00, se observa que en el invernadero con pantalla, se presenta un incremento de la luminosidad motivado por el ambiente externo, debido a que gracias a la pantalla, por un lado se disminuyen los niveles de condensación en los plásticos, y por otro se disminuye el efecto de sombras a causa de los hilos aluminizados que reflejan la luz en diferentes direcciones al interior del invernadero, generando beneficios al productor, puesto que una luminosidad más alta mejora el proceso de la fotosíntesis. La luminosidad disminuye un poco más rápido debido a las sombras que proyecta el sol en el invernadero y a la operación normal del sistema. De acuerdo con la literatura, el invernadero con pantalla obtiene una mayor cantidad de energía en comparación con el invernadero sin pantalla.

**GRÁFICO 4-7** Comparativo de intensidad luminosa diaria

### 4.3 Análisis de crecimiento

En cada uno de los invernaderos se marcaron 160 plantas a las cuales se le tomó un registro semanal de diámetro y largo de los tallos así como también se midió el diámetro de las cabezas. En el gráfico 4-8 se observa el crecimiento de los tallos. El comportamiento de este parámetro en el invernadero con pantalla es más constante que en el invernadero sin pantalla. De igual forma, se aprecia que el arranque del crecimiento es más rápido en el invernadero con pantalla.

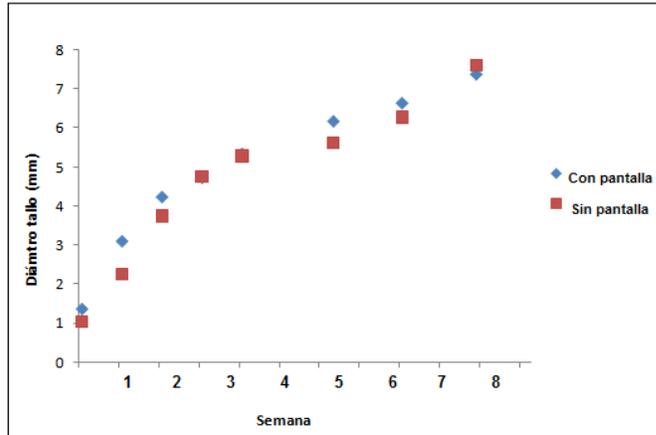
En campo, este comportamiento se puede observar al anotar las diferencias que existen en cantidad y calidad de follaje entre las plantas observadas. Mientras que el follaje de las plantas ensayo es más grande y abundante, el del testigo es menor.

El comportamiento del diámetro del tallo muestra que hasta la semana 4 es mayor en el invernadero con pantalla, entre la semana 4 y la 5 el crecimiento del diámetro es igual para los dos invernaderos, volviendo a ascender en la semana 5 y 6 para el invernadero con pantalla; al final del ciclo productivo, los calibres de los tallos de los dos invernaderos coincidieron en un promedio de 7,625 mm. La mayor diferencia entre los diámetros se presentó en la semana 2 con un valor de 0,83 mm y la menor diferencia la semana 4 donde se observa un leve crecimiento en el invernadero sin pantalla con respecto al invernadero con pantalla y cuyo valor es de 0,22 mm.

De acuerdo con la revisión de literatura y las investigaciones realizadas por el Instituto Agronómico de Campiñas (IAC), el tiempo del cultivo se disminuye casi en un 30% cuando se implementan las pantallas térmicas. Uno de los factores que puede tener

incidencia en el resultado, es que el mecanismo no era automático, se dependía de operarios y ellos en algunas ocasiones no realizaban las tareas de abrir y cerrar las pantallas.

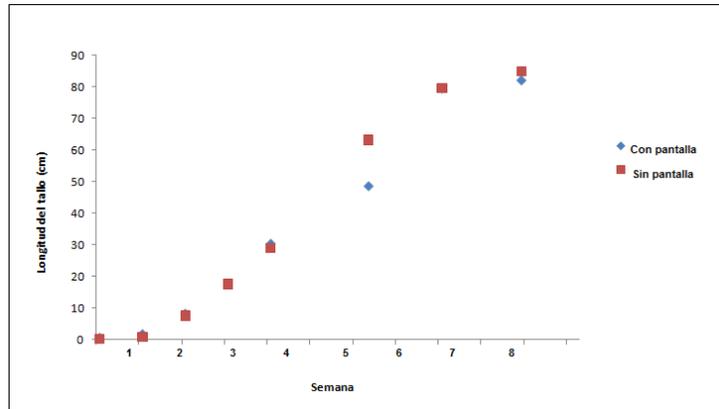
**GRAFICO N-8** Comparativo de crecimiento semanal, diámetro tallo



En el gráfico 4-9, se observa el crecimiento final en la altura del tallo. En los dos invernaderos la altura de los tallos supera los 80 cm por lo tanto, se encuentra en el rango requerido para poder ser comercializado. También se aprecia un comportamiento más constante en el invernadero con pantalla, al obtener datos con una mejor relación diámetro/longitud. Adicionalmente se observa un follaje más abundante, lo cual es un indicador de calidad, siendo esta debida a un mejor ambiente en el invernadero.

El comportamiento de la altura de los tallos es similar hasta la semana 5. A partir de esta semana se observa un crecimiento mayor en el invernadero sin pantalla en la semana 6. El promedio de los tallos medidos en el invernadero sin pantalla fue de 63,34 cm mientras que para el invernadero con pantalla, el promedio de crecimiento fue de 48,36 cm, es decir, una diferencia de 14,97 cm; al finalizar el ciclo productivo la diferencia en la altura de los tallos fue de 3,43 cm siendo el valor de la altura del tallo 85,23 cm para el invernadero sin pantalla y 81,80 cm para el invernadero con pantalla.

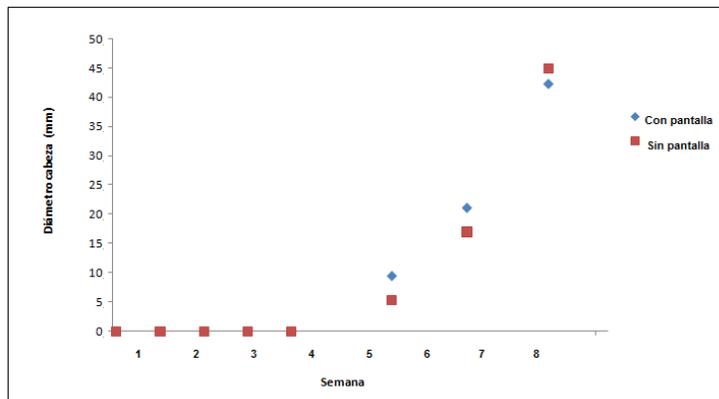
**GRAFICO 4-9** Comparativo de crecimiento semanal, altura del tallo



La toma de datos se inicia en la semana 5 del análisis, debido a que es en este momento en donde se pueden tomar medidas del botón floral, antes tiene un tamaño muy pequeño y pretender hacer una medición de sus dimensiones es virtualmente imposible y se corre el riesgo de dañar la producción por rotura de los botones florales.

Nuevamente se observa un crecimiento más estable en el invernadero con pantalla; mostrando una diferencia entre los promedios de 4,36 mm, esta misma diferencia se mantiene hasta la semana 7, al finalizar el ciclo productivo se obtuvo un mayor diámetro para el invernadero sin pantalla al ser el promedio del diámetro de las cabezas de 44,56 mm vs 41,97 mm para el invernadero con pantalla dando como diferencia promedio 2,59 mm en este punto es importante anotar que, en el caso del cultivo de rosa, las dimensiones de las cabezas son importantes pero pasan a un segundo plano cuando se revisa la calidad del color, la sanidad de pétalos y su comportamiento en florero. Con el sistema de pantalla térmica, se garantiza que la calidad de poscosecha se resguarda.

**GRAFICO 4-10** Comparativo de crecimiento semanal, diámetro de la cabeza

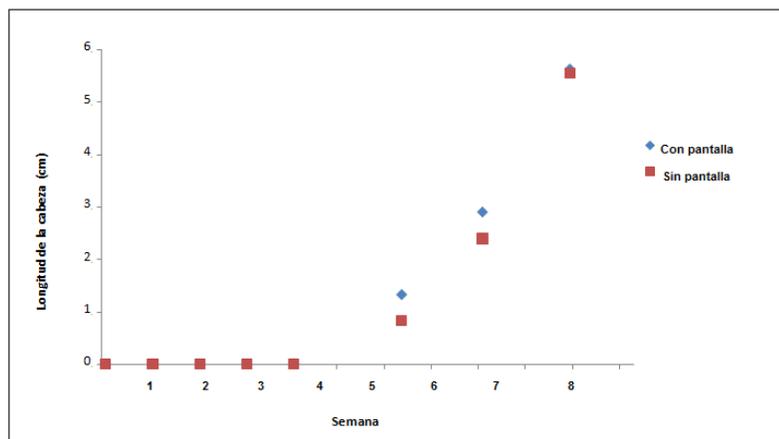


De igual forma que en el parámetro anterior, La toma de datos se inicia en la semana 5 del análisis.

Confirmando las tendencias de los gráficos anteriores, se observa un crecimiento uniforme y sostenido de la altura de la cabeza en el invernadero ensayo en armonía con el tallo y el follaje. Al final de la medición, se observó que ambas cabezas llegaron a un mismo tamaño con la diferencia que las cabezas del invernadero con pantalla tuvieron un crecimiento lento al inicio para estirarse hacia el final, mientras que el crecimiento en el invernadero ensayo fue contante durante toda la medición.

La calidad comercial de los tallos de rosa se mide por las formas armoniosas de sus cabezas y por un excelente desempeño en florero. En el gráfico 4-11 se observa que el crecimiento de la altura de la cabeza es mayor en el invernadero con pantalla que en el sin pantalla en la semana 6 con una diferencia promedio de 0,51 cm, al final del ciclo productivo se encuentra una diferencia de 0,07 cm en promedio.

**GRAFICO 4-11** Comparativo de crecimiento semanal altura de la cabeza



En el gráfico 4-12, se realiza una comparación en las densidades de rosas cortadas de acuerdo a la fecha. En primera instancia se observa que en el invernadero con pantalla fue donde se presentó el primer corte, 3 días antes con respecto al invernadero sin pantalla, lo cual se traduce a un beneficio para el productor debido al ahorro, de personal y equipos de tres días.

Para los dos invernaderos, el primer corte representó la recolección del 1% de la producción. El pico de la cosecha en el invernadero con pantalla, se presentó el 15 de noviembre, en la semana 46 con un 25% del total de la producción, para el invernadero sin pantalla el pico de cosecha se realizó el 21 de noviembre, semana 47 con un 21% de la recolección total de las flores, este resultado también evidencia que el invernadero con

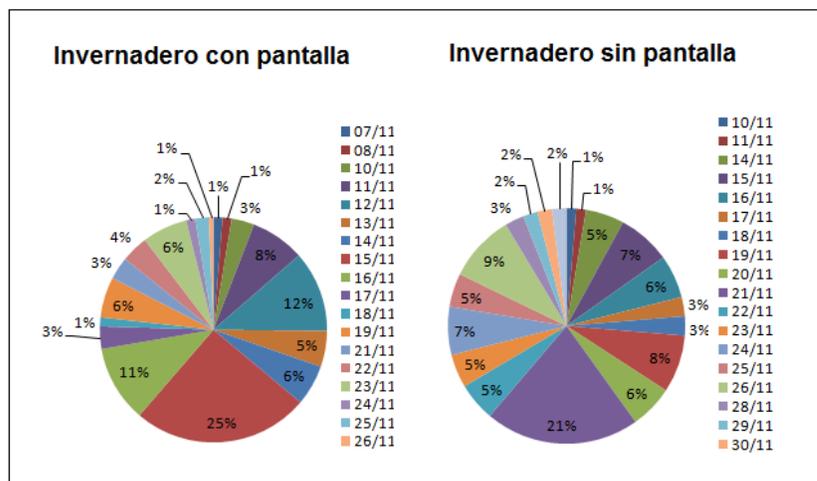
pantalla presentó 6 días antes el pico de cosecha con un porcentaje más alto, lo cual coincide con lo leído en la revisión de literatura en el ahorro de tiempo de cosecha y se traduce a menores gastos de operarios equipos e insumos.

También se evidencia que en el invernadero con pantalla, los porcentajes de recolección son más altos en los primeros días con respecto al invernadero sin pantalla, el cual presenta varios días promedios de 1 y 2 %.

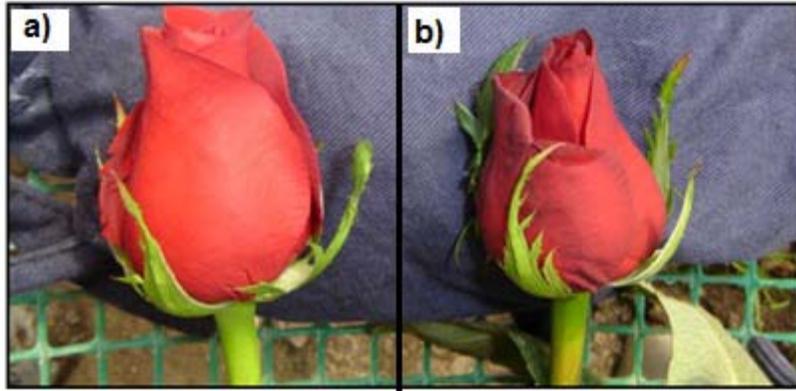
En términos de oportunidad, el productor busca concentrar para una temporada en particular la mayoría de su producción. Con el uso de la pantalla térmica se logró tener el pico de producción una semana antes que en el invernadero testigo concentrando la mayor parte de la producción en 6 días, mientras que el invernadero testigo demora una semana más en salir a producción y el pico se extendió durante 11 días logrando producir el 83% de las flores; es decir, el invernadero testigo produjo un 6% más de flores en 5 días adicionales, o lo que es igual en un 83% más de tiempo, lo que evidencia la bondad del tratamiento con pantalla térmica si se traslada esta situación a una unidad de producción completa.

Según un reporte dado por la sala poscosecha de la empresa, de 121 rosas clasificadas de las 160 que habían en total del invernadero experimental, el 82.65% de las 160 fueron rosas de exportación. Mientras que de 78 rosas clasificadas de las 160 marcadas en el invernadero testigo solo el 52.56% de las 160 fueron de exportación, reafirmando de esta manera que las rosas obtenidas del invernadero experimental tienen mejor calidad.

**GRAFICO 4-12** Porcentaje de cosecha por fecha



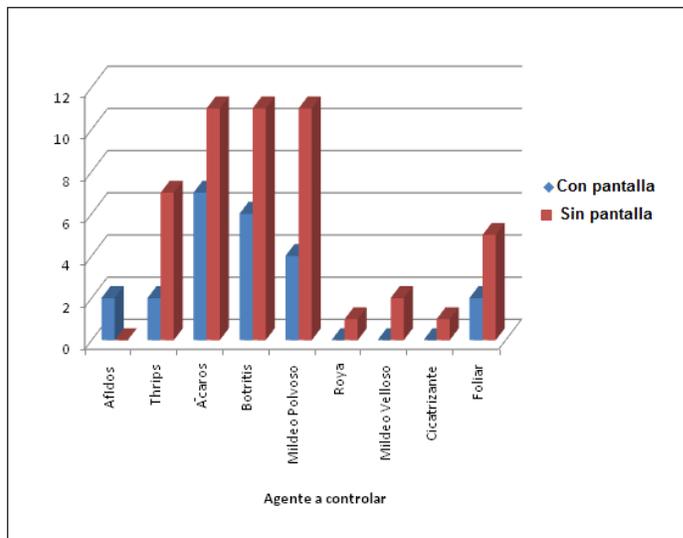
De acuerdo con la imagen 4--1 se puede evidenciar que las rosas del invernadero ensayo no presentan el problema de negreamiento, común en la rosa roja, gracias al manejo de la luz difusa.

**Imagen 4.1** Comparación de la calidad de las rosas**a) Flor sin negramiento, b) Flor con negramiento**

Fuente: El Autor

## 4.4 Análisis de operaciones de control químico

Se realizó un seguimiento de las operaciones de control químico durante los 43 días del componente experimental de la investigación en los invernaderos con pantalla y sin pantalla, obteniendo un resultado plasmado en el gráfico 4-13

**GRAFICO 4-13** Operaciones de control químico

El método más empleado para determinar las operaciones de control, es a través de monitoreo en cada zona de producción, evaluando la incidencia y severidad de acuerdo a

los umbrales establecidos. Bajo estos parámetros se toma la decisión de efectuar el control químico ó no.

En el gráfico se observa que la incidencia de las plagas y enfermedades, llevó a que en el invernadero testigo se realizaran más operaciones de control con respecto al invernadero experimental, lo cual concuerda con la bibliografía del uso de pantallas térmicas en invernaderos. Este beneficio se debe a que en el invernadero ensayo se presentan menores variaciones de las condiciones climáticas.

Una combinación de factores genera la aparición de enfermedades de origen fúngico. En un invernadero se pueden generar las condiciones adecuadas para las enfermedades como Botrytis y Mildeo, en un periodo de tiempo relativamente corto. El gráfico nos muestra que el caso concreto del mildew veloso las operaciones de control químico superan en casi un 100% en el invernadero testigo, esto en términos económicos beneficia al productor al tener que disminuir el uso de agroquímicos, además de la mano de obra que tiene que ocuparse en esta labor, en términos ecológicos los residuos ambientales también disminuyen y la salud de los operarios será beneficiada.

## 4.5 Análisis económico

A continuación se realizará una descripción económica de los invernaderos usados en la investigación.

Invernadero con pantalla

**Tabla 4-8:** Costos (En COP año 2011) de infraestructura y mantenimiento invernadero con pantalla

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (PESOS)	PRECIO TOTAL
Estructura	m <sup>2</sup>	1.417	26.846	38.040.782
Cubiertas	m <sup>2</sup>	1.983	1.546	3.065.718
Pantalla térmica	m <sup>2</sup>	1.417	5.328	7.549.776
Plántulas	Unidad	9.211	11.106	102.297.366
Mano de obra	Jornal	300	30.310	9.093.000
Control Químico	Operaciones	16	1.000.000	16.000.000
Total				176.046.642

## Invernadero sin pantalla

**Tabla 4-9** Costos (En COP año 2011), infraestructura y mantenimiento invernadero sin pantalla.

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (PESOS)	PRECIO TOTAL
Estructura	m <sup>2</sup>	1.893	26.846	50.819.478
Cubiertas	m <sup>2</sup>	2.650	1.546	4.096.900
Pantalla térmica	m <sup>2</sup>	0		
Plántulas	Unidad	12.211	11.106	135.615.366
Mano de obra	Jornal	490	30.310	14.851.900
Control Químico	Operaciones	28	1.000.000	28.000.000
Total				233.383.644

En la mayoría de los balances económicos es necesario determinar la inversión por m<sup>2</sup> y la inversión por planta, a continuación la presentamos las tablas 4-9 y 4-10 respectivamente, para los dos invernaderos

**Tabla 4-10.** Inversión por m<sup>2</sup>

INVERNADERO CON PANTALLA (PESOS)	124.239
INVERNADERO SIN PANTALLA (PESOS)	123.288

**Tabla 4-11** Inversión por planta

INVERNADERO CON PANTALLA (PESOS)	19.112,65
INVERNADERO SIN PANTALLA (PESOS)	19.112,57

El análisis de las cifras unitarias da como resultado, que a pesar que en el invernadero ensayo se presenta una mayor inversión por m<sup>2</sup>, equivalente al 4,3%; el costo por planta no varía de la misma forma, debido a que en el invernadero testigo se implementó más mano de obra y mayor cantidad de químicos para el manejo de enfermedades y plagas.

En el cultivo de rosas, el valor de la inversión en material vegetal es bastante significativo, si no se tiene en cuenta este costo fijo, para el análisis, el valor de la inversión unitaria mantiene la misma tendencia, pero el valor de la inversión inicial en el invernadero ensayo se incrementa un 10,24%.

**Tabla 4-12** Inversión por m<sup>2</sup>

INVERNADERO CON PANTALLA (PESOS)	52.046
INVERNADERO SIN PANTALLA(PESOS)	51.647

**Tabla 4-13** Inversión por planta

INVERNADERO CON PANTALLA (PESOS)	8.006,65
INVERNADERO SIN PANTALLA (PESOS)	8.006,57

Un ítem importante en cuanto al cultivo de rosas y de flores en general, es la calidad de la flor, al cumplir ciertos parámetros se determina si es exportable o no. A continuación se muestra en detalle el porcentaje de la producción. Estos datos fueron aportados por la poscosecha del cultivo.

**Tabla 4-14** Porcentaje de rosas exportables

Invernadero	Producción anual	% exportable	Unidades exportadas	Valor unitario (pesos)	total (pesos)
Con pantalla	121.578	82,65%	100.484	621,6	<b>62.460.989,29</b>
Sin pantalla	161.185	52,56%	84.719	621,6	<b>52.661.228,46</b>

De acuerdo con la tabla anterior se puede observar que el retorno económico en el invernadero ensayo es un 19% mayor con respecto al invernadero testigo. Al realizar el análisis de comercialización por m<sup>2</sup>, se obtuvo.

**Tabla 4-15:** Análisis de comercialización por m<sup>2</sup>

INVERNADERO CON PANTALLA (PESOS)	44.079,74
INVERNADERO SIN PANTALLA (PESOS)	27.818,83

De acuerdo con la tabla anterior se puede observar que el porcentaje de ganancias en el invernadero ensayo fue de 58%.





# 5. Conclusiones y recomendaciones

## 5.1 Conclusiones

- Al controlar el ambiente en el invernadero, la calidad de la flor producida es superior. Basándose en la literatura y apoyados en los resultados de la investigación se puede afirmar que la instalación de la pantalla térmica permite controlar con mejores resultados algunas variables ambientales dentro del invernadero, proporcionando de esta forma las condiciones ideales para el desarrollo del cultivo; esto se puede observar al ver la longitud de los tallos producidos, en el invernadero ensayo versus el testigo ya que la práctica cultural usada favorece los tallos largos en el invernadero testigo mientras que en el ensayo no es tan fácil obtener tallos largos. Adicionalmente, el hecho de tener una humedad relativa baja al amanecer permite evitar la condensación en las hojas del cultivo lo que es directamente proporcional al control de enfermedades de origen fúngico. Esto se evidenció en las operaciones de control químico reportadas.
- En cultivos comerciales establecidos buscando tener cosechas en fechas muy exactas, como es el caso de las rosas de exportación, la posibilidad de concentrar los picos de la producción en las épocas en las cuales se tiene mayor demanda, es una variable fundamental para el éxito empresarial. Con el uso de las pantallas se mantiene algunas condiciones climáticas favorables para el cultivo, que redundan en una mayor actividad fotosintética en la misma unidad de tiempo, reduciendo los ciclos de cultivo. En nuestro caso de estudio, se logró disminuir los días de cosecha (concentrar la producción), además de adelantar en 3 días el inicio de la cosecha y adelantar 6 días el pico de producción (reducción del ciclo) con respecto al invernadero testigo (sin pantalla). Todo esto se traduce en menores costos de producción y de mano de obra, con lo cual se puede evidenciar que a pesar del costo inicial del sistema, se presentará una disminución considerable en los gastos fijos de químicos y mano de obra.
- El manejo eficiente de las condiciones climáticas dentro del invernadero disminuye de manera destacada la presencia de plagas y enfermedades en el cultivo, y una de las ventajas más importantes de la implementación de las pantallas térmicas en los invernaderos, es la disminución de operaciones de control químico. El estudio

permitió visualizar este efecto, ya que se observó una disminución en las operaciones de control químico, (la reducción en la mano de obra utilizada en el control químico en el invernadero del ensayo se redujo en un 40% con respecto al testigo, y el gasto en las operaciones se redujo un 43%), lo cual es fundamental para la agricultura moderna, al ser uno de los ítems más costosos en la producción y más criticados por el impacto que tiene sobre el ambiente y la salud de los trabajadores.

- Esta investigación se desarrolló en la Sabana de Bogotá en donde las condiciones del clima son muy particulares, por tratarse de un clima intertropical de montaña (clima frío), lo que lleva a que las definiciones existentes para el manejo de pantallas térmicas no sean aplicables al pie de la letra, de acuerdo a lo encontrado a nivel internacional, ya sea porque proviene de estudios realizados en países con estaciones bien definidas, porque proviene de estudios en zonas intertropicales cálidas, o porque son estudios realizados en cultivos de frutas u hortalizas. Su aporte consiste en la generación de conocimiento sobre el uso y aplicación de este tipo de herramientas en producción de flores, teniendo en cuenta el tipo de estructura más usado en el país, y porque no decirlo, a nivel latinoamericano, teniendo en cuenta que estas estructuras poseen bajos niveles de hermeticidad para un control de clima adecuado. Se ofrecen resultados confiables sobre su viabilidad de implementación desde el punto de vista técnico y económico, así como su nivel de incidencia en los niveles de producción y reducción de actividades de control químico y fitosanitario, convirtiéndose en una solución amigable con el ambiente ya que reduce el uso de agroquímicos durante las diferentes fases de producción. Demostrando que es una alternativa viable, que aunque requiere una inversión inicial alta, recupera rápidamente la misma a través del beneficio en los niveles de producción y reducción de costos en otras operaciones.
- Este trabajo de investigación se convierte en un material de consulta y ayuda a la toma de decisiones en busca del mantenimiento y mejora de los niveles de competitividad de los productores y exportadores colombianos que utilizan los invernaderos como herramienta de cultivo. La aplicación de algunos sistemas de control climático, como las pantallas térmicas permiten obtener mejores rendimientos en las inversiones realizadas. Este estudio es una de las primeras contribuciones en uno de los renglones más representativos de la economía nacional.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar el sistema móvil de pantalla térmica en la Sabana de Bogotá, puesto que en esta zona, se presentan días de máxima luminosidad y un descenso extremo de temperatura al amanecer, lo cual le genera estrés a las

plantas; al implementar la pantalla se pueden manejar estas dos variables, proporcionando protección a la planta y asegurando la calidad de la producción. En el caso de las rosas tipo exportación se tiene que atravesar la época de fin de año, que coincide con la periodo de verano (altas temperaturas diurnas y fríos extremos al amanecer), con la mayor producción esperada para comercializar en la fiesta de San Valentín, temporada de mayor demanda en el año, la cual se celebra a mediados de febrero. Un evento climático extremo mal controlado en esta temporada, puede llevar a un cultivo de rosas a la quiebra.

- La implementación de la pantalla en esta investigación verifica lo reportado en la literatura en cuanto a los beneficios de reducción de temperatura, control de la humedad y en los niveles de radiación a la largo del espectro. Sin embargo, se recomienda hacer una investigación con un intervalo de periodo más largo debido a que durante el ensayo las condiciones climáticas fueron muy estables y sería importante conocer el comportamiento del invernadero con pantalla bajo condiciones más extremas.
- En el mismo sentido, se sugiere la realización de un estudio de viabilidad económica sobre la implementación de estos sistemas de forma automatizada, que permita un máximo aprovechamiento de las condiciones que ofrecen las zonas intertropicales altas de montaña. De esta manera los beneficios son mayores porque se optimiza el manejo de variables ambientales a un costo operativo menor, y no se va a depender del criterio del operario de turno, sino de mediciones constantes y de programación en beneficio del cultivo.
- Se recomienda que al realizar la automatización del sistema se establezcan los parámetros para el uso de la pantalla en horas diurnas, esto implica tener un seguimiento de variables como la luminosidad, temperatura y humedad relativa dentro del invernadero, debido a que en la Sabana de Bogotá aleatoriamente se presentan días en los cuales la luminosidad y la temperatura son demasiado altas. En la época de verano por ejemplo, en las horas de mediodía la temperatura y la luminosidad hacen entrar en estrés calórico a las plantas interrumpiendo sus procesos fisiológicos; bajo estas condiciones, se debe expandir la pantalla para asegurar que el cultivo continúe su ciclo fotosintético y se debe retirar cuando la temperatura alcance niveles confortables para la planta y permita acumular calor para manejar las condiciones ambientales en las horas de la noche y la madrugada, este seguimiento es complejo y requiere el permanente monitoreo de algunas variables climáticas y toma de decisiones, lo cual implica necesariamente el uso de computadores y sistemas automáticos de respuesta.







## **A. Anexo: Recopilación de datos, (HOBO)**

Nota: A continuación se presentan los datos recopilados en los dos invernaderos para el primer día, los datos completos se encuentran en el archivo del CD.

## Recopilación de datos invernadero con pantalla

Invernadero con pantalla				
Día	Hora	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Intensidad Luminosa (Lm/m <sup>2</sup> )
1	0	10,21	89,3	2
1	0	10,21	89,3	2
1	0	10,21	89,3	2
1	0	10,21	89,3	2
1	1	10,21	91,6	2
1	1	10,6	91,6	2
1	1	10,6	89,3	2
1	1	10,6	89,3	2
1	2	10,21	89,3	2
1	2	9,82	89,3	2
1	2	9,42	91,6	2
1	2	9,03	91,6	2
1	3	9,03	91,6	2
1	3	8,63	91,6	2
1	3	8,23	91,6	2
1	3	8,23	91,6	2
1	4	8,23	94,4	2
1	4	7,83	94,4	2
1	4	7,83	94,4	2
1	4	7,83	94,4	2
1	5	7,43	94,4	2
1	5	7,43	94,4	2
1	5	7,43	94,4	2
1	5	7,43	94,4	2
1	6	7,43	94,4	41
1	6	7,83	94,4	105
1	6	8,63	94,4	378
1	6	12,16	85,5	846
1	7	16	67,6	903
1	7	20,19	54,8	903
1	7	22,48	47,9	903
1	7	24,4	43	903
1	8	26,34	40,4	903
1	8	29,5	35,3	903
1	8	29,9	34,7	903
1	8	32,34	31,2	903
1	9	31,52	29,7	903
1	9	34,01	30	903

---

1	9	35,7	27	903
1	9	36,57	26,4	903
1	10	30,31	30,2	903
1	10	29,9	32,8	903
1	10	34,01	26,8	903
1	10	36,57	24,9	903
1	11	42,46	24	903
1	11	43,91	24,6	903
1	11	42,46	25,4	903
1	11	37,44	23,9	903
1	12	40,13	24,1	903
1	12	36,13	24,1	903
1	12	32,34	28,4	903
1	12	29,1	28,1	903
1	13	31,93	29,5	903
1	13	30,71	28,6	903
1	13	33,17	28,5	903
1	13	33,17	29	903
1	14	32,34	26,1	903
1	14	30,31	29,6	903
1	14	31,12	31,2	903
1	14	32,34	27,2	903
1	15	33,59	29,5	903
1	15	34,43	26,2	903
1	15	34,85	26,3	903
1	15	32,76	25,8	903
1	16	31,12	27,8	555
1	16	26,73	32	544
1	16	24,4	40,5	445
1	16	22,09	44,7	165
1	17	20,19	51	98
1	17	19,04	57	44
1	17	18,28	60,5	55
1	17	17,52	59,4	27
1	18	16,76	63,6	9
1	18	16	67,1	2
1	18	15,62	70,1	2
1	18	15,23	65	2
1	19	15,23	66,9	2
1	19	14,85	70,7	2
1	19	14,47	75,3	2
1	19	14,09	73,9	2

1	20	13,7	75,4	2
1	20	13,32	79	2
1	20	13,32	81,2	2
1	20	12,93	81,2	2
1	21	12,93	82,5	2
1	21	12,55	83,9	2
1	21	12,55	85,4	2
1	21	12,16	85,5	2
1	22	12,16	85,5	2
1	22	11,77	87,2	2
1	22	11,77	87,2	2
1	22	11,77	87,2	2
1	23	11,77	89,2	2
1	23	11,77	89,2	2
1	23	11,77	89,2	2

<b>Invernadero sin pantalla</b>				
<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>	<b>Intensidad Luminosa (Lm/pie<sup>2</sup>)</b>
1	0	9,42	94,4	2
1	0	9,42	94,4	2
1	0	9,42	94,4	2
1	0	9,42	94,4	2
1	1	9,82	94,5	2
1	1	9,82	94,5	2
1	1	9,82	94,5	2
1	1	9,82	94,5	2
1	2	9,42	94,4	2
1	2	9,03	94,4	2
1	2	8,63	94,4	2
1	2	8,63	94,4	2
1	3	8,63	94,4	2
1	3	8,23	94,4	2
1	3	7,83	94,4	2
1	3	7,83	94,4	5
1	4	7,43	94,4	2
1	4	7,43	97,9	2
1	4	7,43	97,9	2
1	4	7,43	97,9	5
1	5	7,43	97,9	2
1	5	7,03	97,9	2
1	5	7,03	97,9	2
1	5	6,62	97,9	5
1	6	7,03	97,9	32
1	6	7,03	97,9	96
1	6	8,23	98	217
1	6	10,6	98,1	302
1	7	14,09	89,2	546
1	7	17,14	74,2	695
1	7	19,42	65,6	670
1	7	20,19	62,1	549
1	8	22,48	54,3	774
1	8	24,79	48,6	774
1	8	25,17	45	774
1	8	26,73	46,7	774
1	9	26,73	44,8	774
1	9	29,5	42,1	774
1	9	31,52	37,9	774

---

1	9	31,52	35,9	774
1	10	27,91	35,5	774
1	10	29,5	37,5	774
1	10	29,5	33,9	774
1	10	30,71	28,8	774
1	11	33,17	27	774
1	11	37	25	774
1	11	39,22	24	774
1	11	36,13	27,4	774
1	12	38,32	24,4	774
1	12	34,01	25,1	774
1	12	31,12	25,5	774
1	12	31,52	27,5	774
1	13	30,71	27,5	774
1	13	29,5	30,1	774
1	13	36,57	24,9	774
1	13	42,46	24,2	774
1	14	32,34	25,7	774
1	14	30,71	29	774
1	14	37,88	25,2	774
1	14	42,46	24	774
1	15	44,89	26,1	774
1	15	47,43	25,9	774
1	15	46,4	24,7	774
1	15	40,59	25	774
1	16	30,71	27,1	774
1	16	24,4	34,3	527
1	16	22,48	41,1	458
1	16	19,42	46,8	217
1	17	18,28	51,9	117
1	17	17,14	59,5	26
1	17	17,14	59,2	47
1	17	16,38	64	20
1	18	15,62	66,4	5
1	18	15,23	70,7	2
1	18	14,85	71,9	2
1	18	14,47	67,9	2
1	19	14,09	69,8	2
1	19	14,09	75,4	2
1	19	13,7	77,1	2
1	19	13,32	76,3	2
1	20	12,93	80,1	2
1	20	12,55	83,9	2

---

1	20	12,55	85,4	2
1	20	12,16	85,5	2
1	21	11,77	87,2	2
1	21	11,77	89,2	2
1	21	11,38	89,2	2
1	21	11,38	89,2	2
1	22	10,99	91,6	2
1	22	10,99	91,6	2
1	22	10,99	91,6	2
1	22	10,99	91,6	2
1	23	10,99	94,5	2
1	23	10,99	94,5	2
1	23	10,99	94,5	2
1	23	10,99	94,5	2



**B. Anexo: Salidas del software  
XLSTAT 7-5-**

### Análisis temperatura

Prueba t de Student para datos independientes / prueba bilateral:

Se plantea la hipótesis que las varianzas teóricas son iguales. Intervalo de confianza 95,00% de la diferencia de las medias:

t (valor observado)	4,479
t (valor crítico)	1,960
GDL	8254
p-value bilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias. Dicho de otro modo, la diferencia entre las medias es significativa.

Prueba t de Student para datos independientes / prueba bilateral:

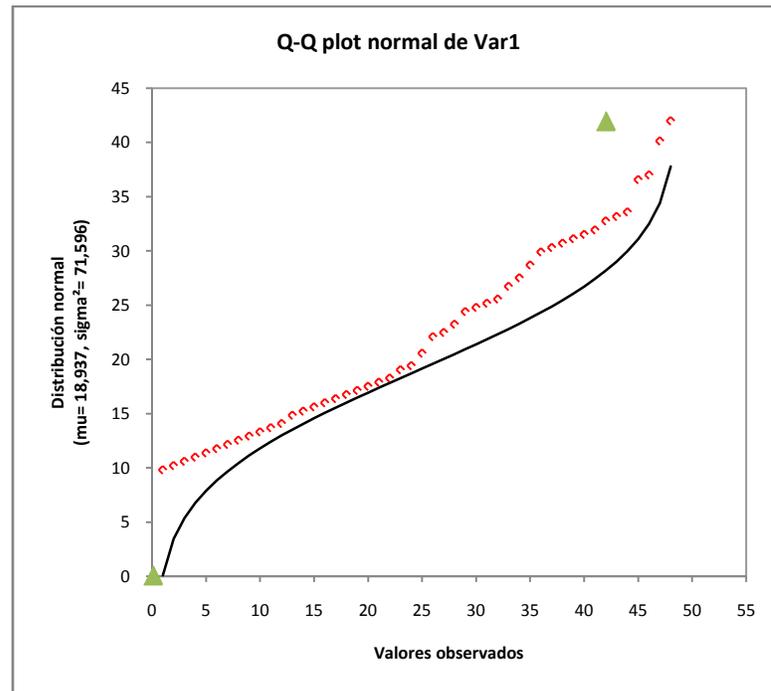
No se plantea la hipótesis que las varianzas teóricas son iguales (método de Satterthwaite)

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias. Dicho de otro modo, la diferencia entre las medias es significativa.

## Pruebas de normalidad para el invernadero con pantalla

Nivel de significación: 0,05

Resultados para la muestra de temperatura



Prueba de Shapiro-Wilk:

W (valor observado)	0,840
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa.

Prueba de Anderson-Darling:

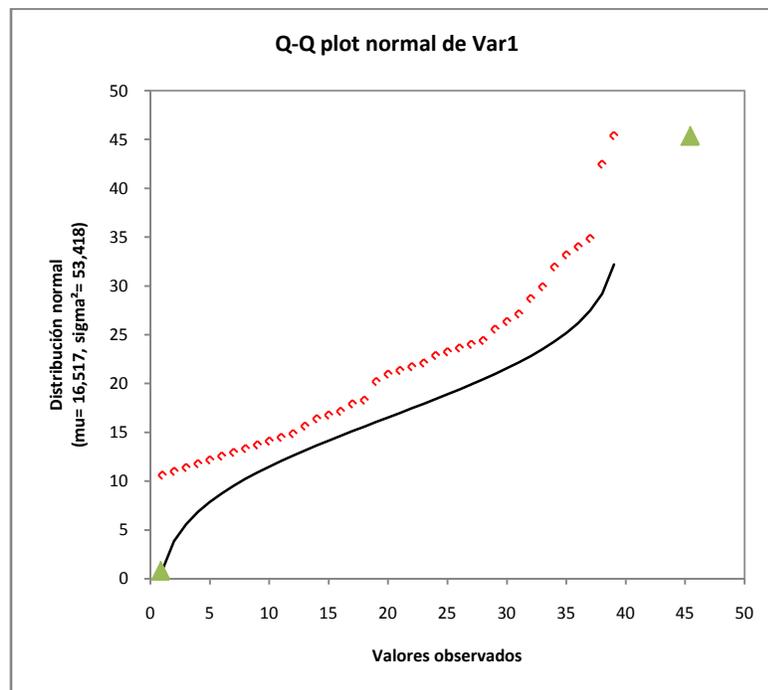
A <sup>2</sup> de Anderson-Darling	6,216
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa

### Pruebas de normalidad para el invernadero sin pantalla

Resultados para la Temperatura



Prueba de Shapiro-Wilk:

W (valor observado)	0,750
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación  $\text{Alfa}=0,050$  se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa.

Prueba de Anderson-Darling:

A <sup>2</sup> de Anderson-Darling	8,603
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación  $\text{Alfa}=0,050$  se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa

### Análisis humedad relativa

Prueba t de Student para datos independientes / prueba bilateral: Se plantea la hipótesis que las varianzas teóricas son iguales. Intervalo de confianza 95,00% de la diferencia de las medias:

t (valor observado)	-4,254
t (valor crítico)	1,960
GDL	8254
p-value bilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias. Dicho de otro modo, la diferencia entre las medias es significativa.

Prueba t de Student para datos independientes / prueba bilateral:

No se plantea la hipótesis que las varianzas teóricas son iguales (método de Satterthwaite)

Intervalo de confianza 95,00% de la diferencia de las medias:

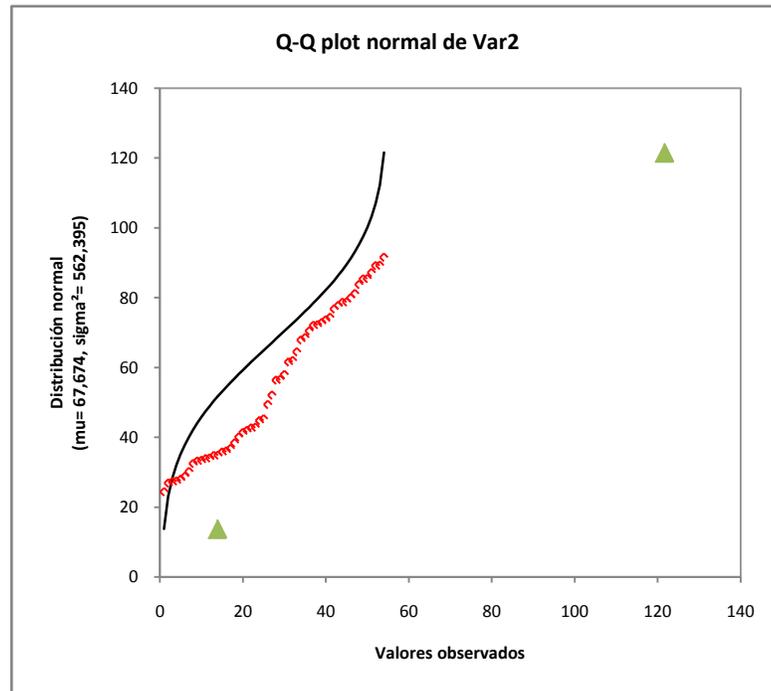
t (valor observado)	-4,254
t (valor crítico)	1,960
GDL	8218
p-value bilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias. Dicho de otro modo, la diferencia entre las medias es significativa.

### Pruebas de normalidad para el invernadero con pantalla

Nivel de significación: 0,05

Resultados para la muestra de humedad relativa



Prueba de Shapiro-Wilk:

W (valor observado)	0,829
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa.

Prueba de Anderson-Darling:

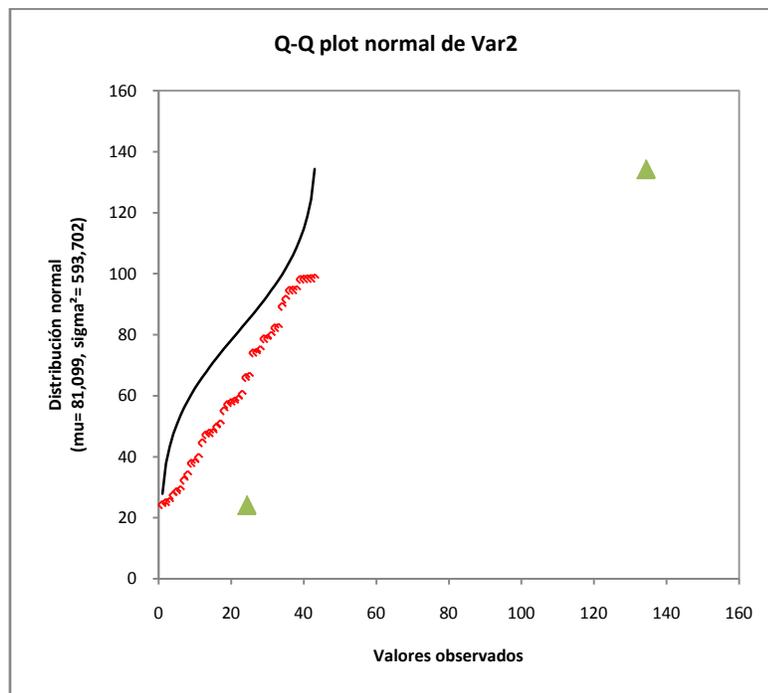
A <sup>2</sup> de Anderson-Darling	6,456
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa

**Pruebas de normalidad para el invernadero sin pantalla**

Resultados para la humedad relativa



Prueba de Shapiro-Wilk:

W (valor observado)	0,724
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación  $\text{Alfa}=0,050$  se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa.

Prueba de Anderson-Darling:

A <sup>2</sup> de Anderson-Darling	11,550
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación  $\text{Alfa}=0,050$  se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa

### Análisis luminosidad

Prueba t de Student para datos independientes / prueba bilateral:

Se plantea la hipótesis que las varianzas teóricas son iguales. Intervalo de confianza 95,00% de la diferencia de las medias:

---

t (valor observado)	4,284
t (valor crítico)	1,960
GDL	8254
p-value bilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

---

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias. Dicho de otro modo, la diferencia entre las medias es significativa.

---

t (valor observado)	4,284
t (valor crítico)	1,960
GDL	8096
p-value bilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

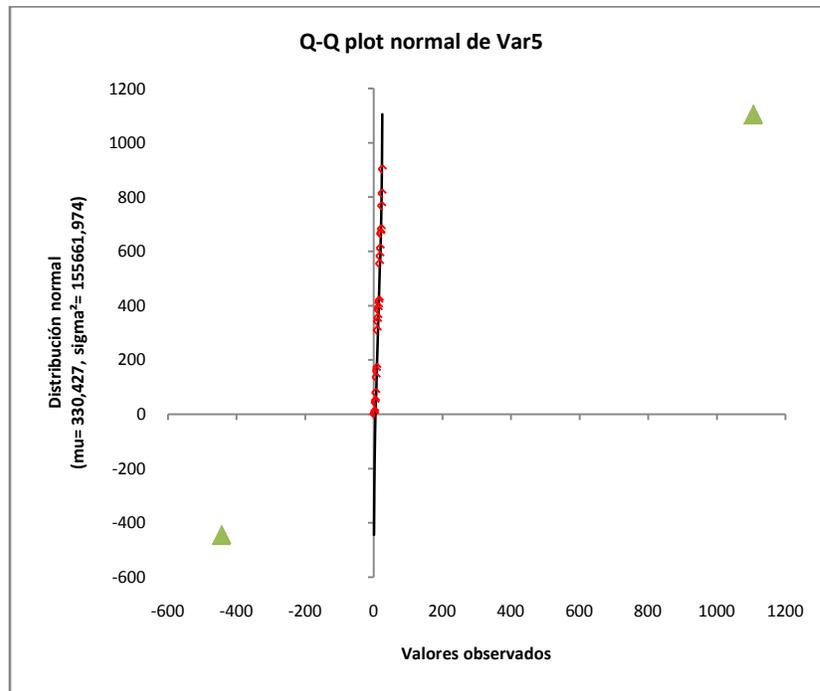
---

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias. Dicho de otro modo, la diferencia entre las medias es significativa.

### Pruebas de normalidad para el invernadero con pantalla

Nivel de significación: 0,05

Resultados para la muestra de Luminosidad



Prueba de Shapiro-Wilk:

W (valor observado)	0,898
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa.

Prueba de Anderson-Darling:

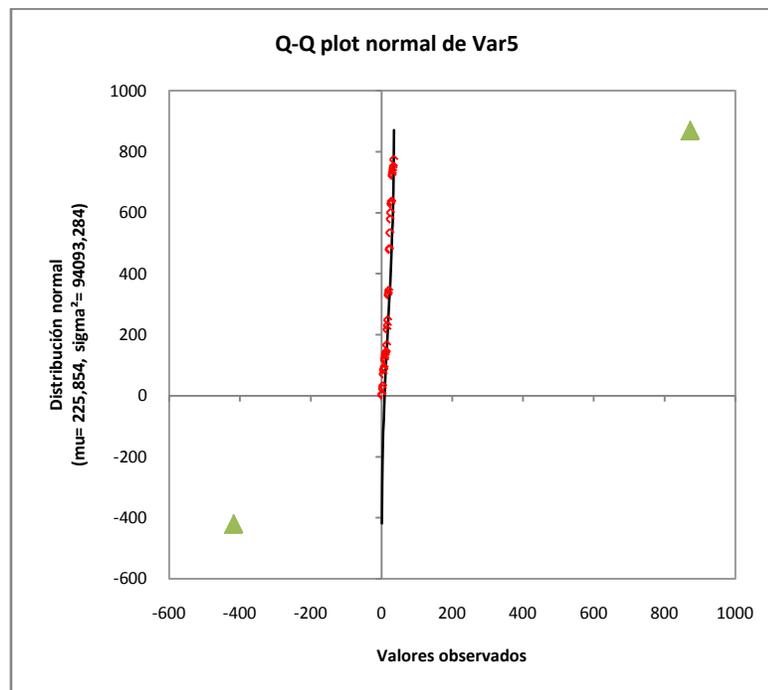
A <sup>2</sup> de Anderson-Darling	3,004
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación Alfa=0,050 se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa

### Pruebas de normalidad para el invernadero sin pantalla

Resultados para la luminosidad



Prueba de Shapiro-Wilk:

W (valor observado)	0,769
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación  $\text{Alfa}=0,050$  se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa.

Prueba de Anderson-Darling:

A <sup>2</sup> de Anderson-Darling	4,865
p-value unilateral	< 0,0001
Alpha	0,05

Al umbral de significación  $\text{Alfa}=0,050$  se puede rechazar la hipótesis nula según la cual la muestra sigue una ley normal.

Dicho de otro modo, la no-normalidad es significativa



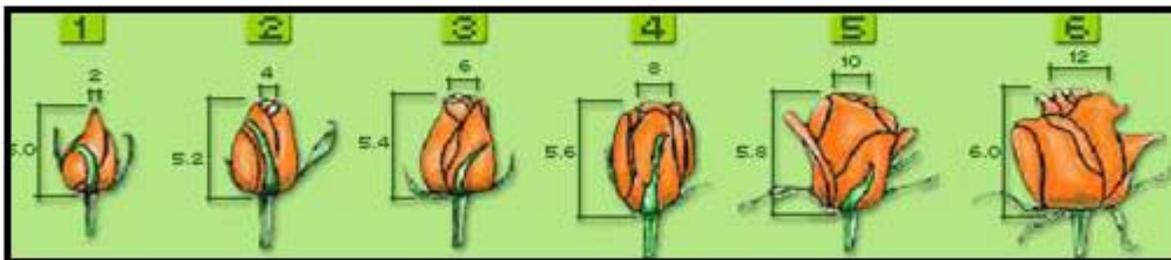
## **C. Parámetros de exportación de rosas colombianas.**

Para mantener las exportaciones, las empresas y productores de rosas deben registrarse bajo ciertos lineamientos y para conservar la calidad de la flor.

Corte de tallo: el corte del tallo determina el precio de compra y la cantidad de rosas que se pueden empacar en una caja. La longitud de la rosa se determina en cm y puede variar hasta los 100 cm de largo.

Para el proceso de exportación de flores a Estados Unidos hay que tener en cuenta la temporada del año que se está trabajando, ya que de eso depende la apertura del pétalo, por ejemplo, si se envía en verano tiene que tener una apertura muy baja, ya que el calor hace que la flor abra de forma más rápida, esto para que cuando llegue al punto de destino tenga la apertura ideal, pero en el caso de que la fecha en la que se realice la exportación sea en invierno, la apertura tiene que ser mayor, ya que el frío impide la apertura de la flor, por esta razón se envía más abierta para que cuando llegue al punto de destino esté en las condiciones ideales, como se ve en la figura C-1.

**Figura C-1. Apertura de la cabeza de la rosa**



Fuente: Escandón. J., (2009)<sup>3</sup>.

En la tabla C-1 que se muestran a continuación se realiza un resumen de los parámetros establecidos por una comercializadora. Estas características las debe cumplir el proveedor para que sus flores sean exportadas.

<sup>3</sup> Tomado de: Propuesta logística para el desarrollo de la exportación de rosas y claveles a Estados Unidos para la exportación. Universidad Javeriana. 2009.

Tabla C-1 Parámetros de calidad para las rosas de exportación.

PARAMETRO	
Longitud del tallo (cm)	80-89
Torcedura del tallo (cm)	3
Tamaño de la cabeza (cm)	6
<b>FLOR</b>	
Color	Cero decoloración o negreamiento.
Estado fitosanitario	Cero presencia de trips, hongos o ácaros
Tamaño de la cabeza medida desde la base del cáliz hasta el pto superior de la flor.	Para el mercado de Estados Unidos de 4 a 5 cm. De acuerdo a la variedad.
Despetale	Cero despetale en cualquier caso
Apertura	La apertura debe ser uniforme, de acuerdo con lo establecido por la comercializadora.
<b>FOLLAJE</b>	
Deshoje y Desespine	A la altura del caucho banda(10 cm de la base), en el caso de cualquier mercado, para el caso de bouquets se debe entregar deshojada y desespina al 50% del  Tallo
Estado fitosanitario	Cero presencia de hongos (Botrytis, Mildew polvoso y veloso), ácaros o lesiones por toxicidad.
<b>TALLO</b>	
Estado fitosanitario	Cero presencia de hongos, ácaros o ataques de insectos
<b>RAMO</b>	
# de tallos por ramo	Ramo redondo o cuadrado, uno de 13 unidades y otro de 12 unidades
	Ramo tipo paleta 12 unidades en el primer piso, 12 unidades en el segundo piso y una unidad en el centro como anclaje.
Forma del ramo	Para el mercado de Estados Unidos. Ramo redondo
Color de banda de caucho	De acuerdo a lo especificado en las características físicas



## **D. Anexo, Protocolo de operación de la pantalla térmica**

## **PROTOCOLO DE OPERACIÓN DE PANTALLAS TÉRMICAS BAJO INVERNADERO**

Una pantalla bien manejada representa para el productor protección efectiva y un aumento en la productividad del cultivo. En el presente documento se presentan las recomendaciones a tener en cuenta dentro de este proceso a fin de mantener la calidad de la producción.

### **OBJETIVO**

El objetivo de éste documento es entregar las herramientas y directrices suficientes y necesarias para una correcta implementación de las pantallas térmicas o termorefllectoras, con el fin de lograr el control de las condiciones climáticas en un invernadero de producción.

### **ALCANCE**

Este procedimiento operativo representa cada una de las fases de la instalación de la pantalla por parte de los operarios designados en el trabajo.

### **GLOSARIO**

Conservar: Proteger del deterioro.

Calidad: Características técnicas que se esperan de un producto agrícola. Conjunto de cualidades organolépticas óptimas del producto vegetal.

Control de clima: Son todas las acciones que se toman para realizar las modificaciones de parámetros como temperatura, humedad relativa y luminosidad entre otros; en un instante determinado.

Humedad relativa: Es la razón entre la presión de vapor de agua y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado.

Microclima: Es un conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan un entorno o ámbito reducido

Nanómetro: Unidad de longitud que equivale a una milmillonésima parte de un metro.

Pantalla: Elemento que se usa de manera temporal sobre el cultivo; es decir, es un sistema de protección que posee algún tipo de mecanismo manual o mecánico que permite colocar o quitar a voluntad la protección sobre el cultivo. Este movimiento se puede automatizar.

Pantalla térmica- termo-refleitora: Son telas formadas por una combinación de tejidos de poliéster dotados de una fina capa de aluminio entretejido, su objetivo principal es equilibrar la temperatura ambiente de los invernaderos manteniendo los niveles más óptimos para el cultivo.

Producción agrícola: Es el resultado de una actividad agrícola.

Radiación infrarroja o IR: Es la porción de la radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. En los ambientes agrícolas protegidos es la responsable de calentamiento interior. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 100 micrómetros.

Radiación ultravioleta o UV: Es la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 15 nm. Es la porción del espectro que llega a la tierra, que posee la mayor cantidad de energía.

Radiación visible: Es la radiación electromagnética en el rango de longitudes de onda de 400 a 700 nm. En ocasiones también es llamado, espectro visible y es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. Supone el 50% de total de la radiación solar y gran parte de ésta, la denominada radiación fotosintéticamente activa (radiación PAR), es la que se utiliza en la fotosíntesis.

Sanidad Vegetal: Es todo lo relacionado con la protección vegetal ante los daños ocasionados por las plagas y enfermedades vegetales, así como el diagnóstico de las mismas, que permitirán aplicar las medidas de erradicación y control más apropiadas.

Temperatura: Se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.

## **EQUIPOS DE MEDICIÓN**

Es necesario que el invernadero cuente como mínimo con equipos como termómetros, data logger, luxómetros, calibradores, flexómetro, medidores de humedad relativa, voltímetro y amperímetro.

## RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN

Para la instalación de la pantalla, se debe implementar un sistema de transmisión de movimiento mediante un circuito cerrado de alambre galvanizado calibre 10, usado comúnmente en el proceso constructivo de la estructura de los invernaderos, el cual debe suministrar soporte y mantenerla extendida. Se deben sujetar conectores de plástico al alambre para colocar la pantalla, extendiendo transversal y longitudinalmente hilo de nylon recubierto con algodón bajo la pantalla, con el fin de darle forma horizontal (evitando escurrimientos por peso) y permitiendo el libre movimiento de recoger y extender al enrollarse en el eje central (tubo de empuje o retracción). El eje central está conformado por un tubo de una (1) pulgada de diámetro en acero galvanizado, sostenido de cada uno de los limatones que conforman la línea lateral del invernadero por medio de bisagras. Se recomienda que estos limatones o paraleles tengan refuerzo de concreto en su base para darle mejor apoyo a todo el invernadero y así contribuir en la absorción de los esfuerzos adicionales que el uso de la pantalla va a solicitar a la estructura.

El sistema de tracción seleccionado es uno accionado por un malacate, ubicado en el exterior del invernadero, el cual funciona de forma manual, el movimiento de rotación que el malacate transmite a la barra de mando, se convierte en movimiento longitudinal mediante un sistema de cadena, acoplada por medio de piñones. El accionamiento del malacate produce el arrastre del hilo de nylon y este se desliza sobre las poleas y comunica el movimiento a todas las cuerdas de arrastre de los diferentes paños o mallas dentro de cada sección del invernadero. Este sistema de malacate es una herramienta convencional de común uso en los invernaderos tradicionales colombianos para el movimiento lateral de cortinas de protección. El sistema debe ser modulado de tal forma que cualquier operario del cultivo, sea hombre o mujer, esté en capacidad de accionarlo, previa capacitación.

Es importante evitar que, en las partes más bajas del invernadero, halla contacto de la pantalla o alguna parte del sistema móvil con el cultivo; esto con el fin de evitar que se presenten daños a la calidad comercial del producto sembrado si es de porte alto o crecimiento indeterminado.

## CONDICIONES DE OPERACIÓN

La pantalla se debe extender hasta quedar completamente plana y paralela al suelo, buscando evitar que se presenten áreas en las cuales no haya traslape de dos paños; esto con el fin de garantizar la máxima eficiencia energética en el ambiente protegido. Si

se llegaran a presentar atascos en el movimiento de cierre o apertura, estos deben ser corregidos en el punto específico del problema antes de continuar con el movimiento.

El cierre debe realizarse mediante la operación inversa del sistema manual llevando a que la pantalla se recoja en pliegues lo más angostos posibles para evitar que la presencia de este material proyecte sombras que entorpezcan el normal desarrollo del cultivo; estos pliegues usualmente quedan ubicados al lado de la línea de limatones que separa cada una de las naves que conforman el invernadero. Se debe tener en cuenta la altura máxima que alcanza el cultivo para evitar que en etapas fenológicas posteriores, la pantalla ocasione daños por roce al producto.

### **SISTEMA DE OPERACIÓN MANUAL**

Cuando el sistema opera de forma manual es necesario capacitar al personal encargado, para que tengan la información de cómo, cuándo y por qué se debe operar el sistema (condiciones de cierre o apertura). De igual manera, se debe establecer el programa de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema móvil. La operación manual puede incurrir en muchos errores debido a la gran responsabilidad que tiene el personal en la ejecución del sistema.

El operario previamente capacitado, se parará de frente al malacate y empezará a girar el sistema con la manivela de tal manera que la pantalla empiece a extenderse sobre las cuerdas de apoyo de manera lenta y constante hasta llegar a los topes establecidos en la línea de limatones que tiene enfrentados. Para la retracción de la pantalla, la operación se hará de la misma forma, solo que girando en sentido inverso el malacate.

### **SISTEMA DE OPERACIÓN AUTOMATIZADO**

En una segunda etapa de la operación de este sistema, se puede implementar un modelo de accionamiento automatizado de apertura y cierre de la pantalla que obedezca a las órdenes de un sistema experto que evalúe las condiciones micro climáticas en tiempo real y tome las decisiones de ajuste que mejor se acomoden a la situación.

## APERTURA DE LA PANTALLA

Antes de implementar la pantalla térmica se deben tener los registros de las condiciones climáticas para determinar el plan de apertura de la pantalla.

De acuerdo con la investigación realizada para las condiciones de la Sabana de Bogotá, se recomienda que la pantalla se extienda todos los días del año en horario nocturno (18:00 a 7:00 horas) con el fin de retener el calor interno durante la noche buscando reducir la condensación de agua en el follaje a baja temperatura, protegiendo las plantas de la acción de bajas temperaturas al amanecer y evitar la incidencia de enfermedades fúngicas. El horario nocturno se debe evaluar de acuerdo con la época del año con el fin de tomar decisiones, sobre todo en el horario de apertura de la pantalla.

En el horario diurno, la operación de la pantalla se va a reducir a su extensión en los días de mayor luminosidad durante unas pocas horas, para evitar que las plantas entren en estrés lumínico. Para esta operación es necesario definir la temperatura (luminosidad) máxima, en la cual se extiende la pantalla y la mínima en la cual se recoge. Este periodo diurno es crítico porque la llegada del cultivo a estas condiciones de estrés hace que las plantas cesen su producción hasta el día siguiente.

Cuando se presente el invierno, se aconseja que durante el día no se extienda la pantalla. En la noche se debe procurar cerrar la pantalla antes de terminar el día, es decir, tratar de capturar calor diurno para tener ganancia de energía para la noche.

En los días que se presentan heladas es necesario retirar la pantalla al amanecer para capturar la mayor cantidad de energía en la mañana, controlar los medidores de luminosidad y temperatura durante todo el día para extender la pantalla antes de llegar a valores críticos que obliguen a la planta a cerrar estomas y detener su producción fotosintética. Cuando los valores de luminosidad y temperatura descendan, se hace necesario retraer de nuevo la pantalla para que ingrese energía al invernadero. Esta energía es la que se va a buscar retener durante la noche para evitar la caída de temperatura nocturna, se recomienda cerrar la pantalla a las 18:00 horas. La implementación de la pantalla no debe repercutir en las labores de protección usadas comúnmente (riego, manejo cultural, nutrición, entre otros) se deben hacer normalmente.

## Bibliografía

**ACUÑA, J y BRICEÑO, D.** 2002. Control climático en invernaderos. Revista Acopaflor. Volumen 9 No. 3: pág 3 – 8. Bogotá, Colombia

**ALBALADEJO, J.** 2001. Control del Clima en los Invernaderos. Horticom. pp 66, 51. Madrid, España.

**ANDERSSON, N.** 2010. Properties of thermal screens used for energy saving in greenhouses. Aarhus University. Dinamarca.

**BAILEY, B.** 1977. Thermal screens for reducing heat losses from glasshouses. Acta Horticulturae No. 70: 26 – 34. Reino Unido.

**BAILEY, B.** 1978. Heat conservation in glasshouses with aluminised thermal screens. Acta Horticulturae No. 76: 275 – 278. Reino Unido.

**BAILEY, B.** 1981. The reduction of thermal radiation in glasshouses by thermal screens. Journal of Agricultural Engineering Research: 215 – 224. Reino Unido.

**BAILEY, B.** 1981. The evaluation of thermal screens in glasshouses on commercial nurseries. Acta Horticulturae No. 115: 663 – 670. Reino Unido.

**BAILLE, A., ARIES, F., BAILLE M and LAURY, J.** 1985. Influence of thermal screen optical properties on heat losses and microclimate of greenhouses. Acta Horticulturae No. 174: 111 – 118. Estados Unidos.

**BOUZO, C., & FAVARO, J.** 2005. Cultivo de tomate en invernadero, alternativas para el control de temperaturas extremas. La Matanza, Argentina: Tesis, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional.

**CASIERRA-POSADA, F., ÁLVAREZ, O y LUQUE, N.** 2010. Calidad de frutos en tomate (*Solanum lycopersicum L. cv. Rocío*) producidos coberturas reflectiva y plástica. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol 4 – No. 1 – pp. 67 – 80. Bogotá, Colombia.

**CHRISTENSEN, O., ANDERSEN, A and MOES, E.** 1978. The effect of thermal screens in glasshouses on heat loss and plant growth. *Acta Horticulturae* No. 76: 293 – 296. Dinamarca.

**COOMAN, A y UBAQUE, H.** 2004. Evaluación del efecto de pantallas térmicas sobre la temperatura mínima del invernadero. En memorias VI Congreso Iberoamericano para el Desarrollo y Aplicación de Plásticos en Agricultura CIDAPA. Bogotá 8 – 10 Noviembre de 2004. Pág 85 – 88. Bogotá, Colombia.

**DA COSTA, A., NEVES, L., SEABRA S e QUEIROZ, J.** 2009. Avaliação da produção dos genótipos de alface, sob malhas termorefletora cultivadas no período de inverno em cânceres-mt. Universidade do Estado de Mato Grosso. Brasil. 2da Jornada Científica da Unemat. Brasil.

**De GRAAF, R.** 1985. The influence of thermal screening and moisture gap on the transpiration of glasshouse tomatoes during the night. *Acta Horticulturae* No. 174: 57 – 66. Reino Unido.

**De SOUZA, S., NASCIMENTO, A., SEABRA, S e THEODORO, V.** 2009. Crescimento de três cultivares de alface cultivadas sob diferentes tipos de tela de sombreamento. Brasil. Universidade do Estado de Mato Grosso. Brasil. 2da Jornada Científica da Unemat.

Floricultura Colombiana, Estadísticas 2009. 2010. Floricultura Colombiana. pp 1,2.

**FRANGI, P., PIATTI, R and AMOROSO, G.** 2009. Evaluation of different screens for energy saving in the greenhouse. Italy. Fondazione Minoprio – Centro MiRT. Italia.

**GALINDO, J., & CLAVIJO, J.** 2009. Fenología del cultivo de arveja (*Pisumsativum* L. Var Santa Isabel). Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Bogotá, Colombia.

**GEOOLA, F., KASHTI, Y., TEITEL, M., LEVI, A., BRICKMAN, R. and ESQUIRA, I.** 2011. A study of u value of greenhouse films with thermal screens using the hot box method. *Acta Horticulturae* No. 893: 367 – 372. Canada.

**GIL, R., LUQUE, N y BOJACÁ, C.** 2009. Efecto de pantallas térmicas sobre la temperatura en invernaderos dedicados a la producción de tomate. En memorias III Congreso Colombiano de Horticultura y Simposio Internacional de Cebolla y Ajo en el Trópico. Libro de Resúmenes. Septiembre 8 – 12 de 2009. Paipa, Colombia. pág. 93.

**GILLI, C.** 2012. Influence of thermal screen management on yield, quality and energy consumption of a soilless tomato culture. *Acta Horticulturae* No. 927: 703 – 706. Reino Unido.

**GUISELINI, C., SENTELHAS, P., PANDORFI, H e HOLCMAN, E.** 2010. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: radiação solar e seus efeitos na produção da gérbera

Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.6, p.645–652. Brasil.

**HOLCMAN, E e SENTELHAS, P.** 2006. Crescimento e desenvolvimento de bromélias em ambiente protegido, cobertos com pebd e diferentes malhas de sombreamento. Congresso Brasileiro de Meteorologia 14. Florianópolis-SC: Universidade Federal de Santa Catarina. Brasil.

**KITTAS, C and KATSOULAS, N.** 2003. Influence of aluminized thermal screens on greenhouse microclimate and night transpiration. *Acta Horticulturae* No. 614: 387 – 392.

**LEITE, M.** 2008. Uso de malhas termo-refletores e malha negra no cultivo hidropônico da alface. Universidade Federal Rural Do Semi-Árido – UFRSA. Brasil.

**LEROUX, L.** 1984. Ecrans thermiques pour regions mediterraneennes. *Acta Horticulturae* No. 154: 185 – 190.

**MAGALHÃES, W., NUNES, M., SEABRA S e OLIVEIRA, W.** 2009. Variação da temperatura do solo sob diferentes malhas de sombreamento. Brasil. 2da Jornada Científica da Unemat. Brasil.

**MEIJER, J.** 1980. Reduction of heat losses from greenhouses by means of internal blinds with low thermal emissivity. *Journal Agricultural Engineering Research* No. 25: 381 – 390.

**MENDEHALL W., BEAVER R.** 2006. Introducción a la probabilidad y estadística. México

**MONROY, N., PÉREZ, I., & CURE, J.** 2000. Estudio de la Variabilidad en el Clima y la Producción de Rosas en la Sabana de Bogotá. *Revista de Ingeniería*. Colombia.

**MONTERO, J.** 1994. Instalaciones y métodos de Control climático. Calefacción. En: Curso superior de especialización sobre tecnología de invernaderos. Almería, España.

**OKADA, M.** 1984. An analysis of thermal screen effects on greenhouse environment by means of a multi-layer screen model. *Acta Horticulturae* No. 174: 139 – 144.

**ÖZTÜRK, H and BAŞÇETİNÇELİK, A.** 2003. Effect of thermal screens on the microclimate and overall heat loss coefficient in plastic tunnel greenhouses. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* No. 27: 123 – 134. Turquía.

**RAPOSO, C., y GARCIA, J.** 2004. Evaluación experimental y modelización del control de la pantalla térmica en invernaderos. Madrid, España: Tesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

**RODRÍGUEZ, A.** 2009. Métodos de predicción y técnicas de control de la condensación en invernaderos. Madrid, España: Tesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

**RODRÍGUEZ, A y ARBELÁEZ, G.** 1995. Efecto de un plástico fotoselectivo y de una pantalla climática en la enfermedad causada por el hongo *Botrytis cinerea* Pers., y en el negreamiento de los pétalos en un cultivo de rosas (*Rosa hybrida*). Agronomía colombiana, 1995, Volumen XII No. 2; pág 127 – 133. Colombia.

**SILVA, M., SEABRA, S., RODRÍGUES, L., OLIVEIRA, W., NOHAMA, M e NUNES, M.** 2011. Incidência de pendoamento em couve-chinesa cultivadas sob campo aberto e telados. Brasil. Horticultura Brasileira 29: 119 – 125. Brasil.

**STARKEY, N.** 1985. The effect of secondary glazing and fixed screens on greenhouse environment and crop response of tomatoes. Acta Horticulturae No. 174: 331 – 339.

**TANTAU, H.** 1981. Radiation properties of thermal screen. Acta Horticulturae No. 115: 671 – 675.

**TEITEL, M., BARAK, M and ANTLER, A.** 2009. Effect of cyclic heating and a thermal screen on the nocturnal heat loss and microclimate of a greenhouse. Biosystems Engineering Volume 102, Issue 2: 162 – 170.

**TESI, R. 1989.** Illiminazione ed ombreggiamento nelle serre (Vol. 7). Coulture Prosette.

**UBAQUE, H. 2001.** Climatización para el Trópico. Bogotá, Colombia: En: Invernaderos, Estructura y Control Climático. Colombia.

**VALVERDE, K., CHANG, M y RODRÍGUEZ-DELFÍN, A.** 2009. Efecto de la calidad de luz sobre la actividad de la nitrato reductasa en plantas de lechuga cultivadas en nft. Lima, Perú. Red Hidroponía, Boletín No 45: 8 – 12.

**VARELA, D., MOLINA, F y GIL, J.** 2001. Las mallas como técnica de control climático en invernadero. Revista Vida Rural, 2001 ISSN 11338938. Nov 15 – 30; Año VIII (139) Pag 50 – 52. España.

**VARELA, D., MOLINA, F., PEÑA, A., & GIL, H.** 2008. Ahorro y eficiencia energética en invernaderos. Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

**VERMEULEN, K., De SWAEF, T., STEPPE, K., CHRISTIAENS, A., BLEYAERT, P., DEKOCK, J., AERTS, J. and BERCKMANS, D.** 2011. Quantifying plant responses of a tomato crop under a thermal screen. Acta Horticulturae No. 893: 831 – 838.