Estudio De La Variabilidad En El Clima Y La Producción De Rosas En La Sabana De Bogotá

Nestor Monroy[1]
Ignacio Pérez[2]
José Ricardo Cure[3]

Resumen

Predecir el tiempo y rendimiento de los cultivos de flores, representa para el floricultor una ventaja competitiva y una herramienta de planeación que le permite mejorar su capacidad para pre-vender, programar recursos y despachos, y mejorar tiempos de pinche para tener florecimiento en periodos de mayores ventas. Este trabajo presenta el estudio de la variabilidad en el clima y la producción en invernaderos no climatizados, que es la primera etapa del proyecto global de "Desarrollo de un modelo de predicción y manejo de cultivos de rosas en la Sabana de Bogotá"

Palabras Clave

Clima, Invernadero, Pinche, Cosecha, Producción

Justificación

Un gran interrogante para el floricultor, lo constituye el conocer cuándo va a ser su producción, en qué fecha va a tener la cosecha lista y qué podría hacer para adelantar o postergar la fecha de dicha cosecha.

Ante estos interrogantes, la Asociación de Exportadores de Flores -ASOCOLFLORES- y la facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes, con el apoyo del Dr. Paul Fisher de la Universidad de New Hamsphire, USA, emprendieron un estudio conformado por 3 capítulos principales:

1. Estudio de la variabilidad en el clima y la producción en invernaderos no climatizados en la Sabana de Bogotá.
2. Desarrollo de un modelo de grados-día para algunas variedades de rosa, que incluye herramientas prototipo para predecir tiempos de cosechas.
3. Estudio de las diferencias en el ciclo de producción, debidas a diferencias en la ubicación de los invernaderos en la Sabana de Bogotá.

El equipo investigador está conformado por los Ingenieros Nestor Monroy e Ignacio Pérez y el Biólogo Dr. José Ricardo Cure.

Introducción

El objetivo general del capítulo uno, es estudiar la variabilidad del clima y la producción en cultivos de rosa en la Sabana de Bogotá. Esta sería la base para desarrollar el modelo de predicción y manejo de cultivos en las fincas ubicadas en ésta zona.

1 Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Los Andes
2 Ph. D. - Escuela Colombiana de Ingeniería
3 Ph. D. - Universidad Militar Nueva Granada

La variabilidad de la temperatura dentro del invernadero determina el índice del desarrollo (tiempo para floración) en los cultivos de flores. Temperaturas muy variables a través del invernadero significan que el tiempo a floración también es variable (floración más rápida en puntos más calientes). Las temperaturas excesivamente altas o bajas son también una fuente de "stress" en las plantas.

El proyecto comenzó en Agosto del 2000. A la fecha se ha culminado la etapa experimental de los tres capítulos y los análisis, conclusiones y resultados del primero de ellos, los cuales se presentan en el presentee artículo. Los capítulos dos y tres estarán concluidos en el mes de septiembre y podrían ser publicados en un próximo artículo.

Objetivos

a. Cuantificar la variabilidad de la temperatura en un invernadero tradicional y uno espacial.

b. Evaluar la temperatura y radiación PAR en un día "típico" en diferentes zonas de la sabana de Bogotá.

c. Comparar la temperatura y radiación PAR externas con la temperatura y radiación PAR dentro de invernaderos tradicionales y espaciales.

d. Cuantificar cómo la temperatura y la radiación externa afectan la temperatura del aire en el interior de los invernaderos.

e. Relacionar la temperatura de los invernaderos, con la producción de tallos en cinco fincas de la sabana de Bogotá.

Metodología

Entre las cerca de 180 fincas existentes en la Sabana de Bogotá, se escogieron 5 suficientemente representativas en cuanto a tipo de invernadero, localización, prácticas culturales y existencia de las variedades de rosas a estudiar. Además se buscó la mayor facilidad para el desarrollo del experimento en infraestructura, interés de los socios en el proyecto, capacidad técnica, etc...

De la misma manera se seleccionaron 5 variedades de rosas prototipo que sirven de modelo tanto por su potencial de mercado, como por su fenotipo.

En las 5 fincas se instalaron 21 sensores de temperatura y 6 de luz distribuidos en invernaderos tanto tradicionales como espaciales. En la nave central de cada invernadero se escogieron 4 o 5 camas divididas en tres secciones iguales: camino central, centro de cama y borde y se analizaron las diferencias en producción en cada una de éstas áreas.

En cada sección se cortaron 60 tallos en producción continua a los cuales se les hizo un seguimiento desde el pinche hasta la cosecha. Una vez cosechados se tomaron datos de longitud de los tallos, tamaño y diámetro de la flor.

Tanto los datos de los sensores como los registros de los tallos, se archivaron en una página en internet para compartir los datos entre los investigadores.

Estos datos recogidos experimentalmente, fueron estudiados, mediante gráficas y análisis estadístico, asegurando así el nivel de confiabilidad de los resultados obtenidos.

El proyecto se trabajó en dos fases, una de ellas para la producción de San Valentín y otra para producción continua

Resultados

Estos son los resultados obtenidos en esta primera etapa del proyecto:

Temperatura

· Tradicionalmente se ha aceptado que los invernaderos espaciales conservan mejor el calor que los tradicionales, sin embargo, estadísticamente, se rechaza esta hipótesis, con un nivel de significancia del 5%, corroborando lo observado en la figura 1, dónde

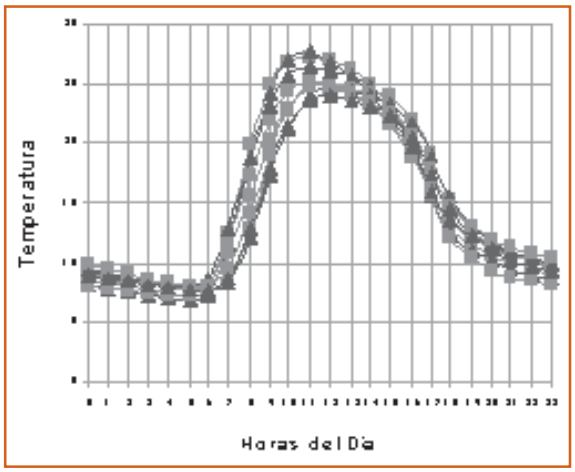

Figura 1. Temperatura en invernadero tradicional y espacial. Promedio por hora tomados en cinco fincas de la sabana de Bogotá.

puede notarse claramente, que no hay diferencia en la temperatura promedio-hora entre invernaderos tradicionales y espaciales.

La figura 2, corresponde al estudio de distribución de probabilidades de la temperatura tanto en inver-

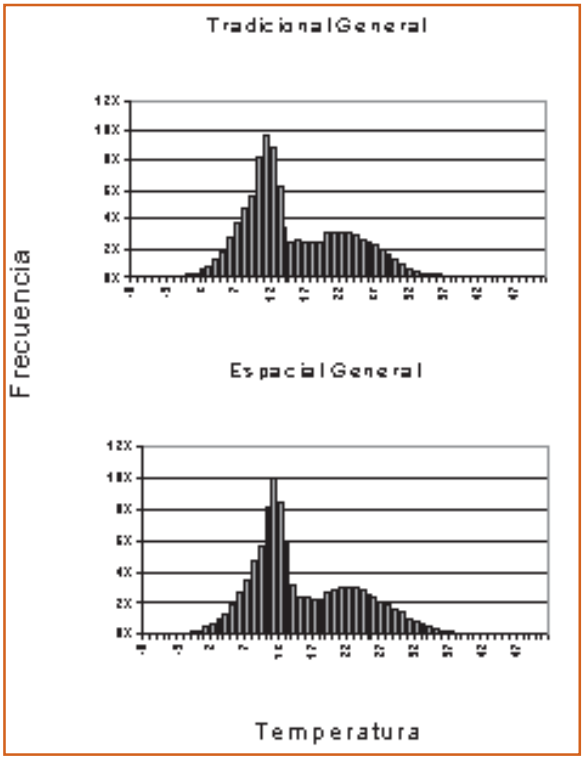

Figura 2. Distribución de frecuencias de temperatura en invernaderos espaciales y tradicionales de cinco fincas de la sabana de Bogotá.

naderos tradicionales como espaciales. Estas distribuciones se ven similares desde el punto de vista gráfico, confirmando nuevamente la no diferencia entre los dos tipos de invernaderos.

Mediante la comparación gráfica de la temperatura promedio, en el interior y el exterior de los invernaderos, se encontró que en la noche, no hay diferencia entre dichas temperaturas, pero en las horas diurnas, sí se presenta una diferencia que resulta en una mayor acumulación de grados-día. La temperatura promedio en el invernadero, durante la noche, fue consistentemente de 9 ºC, mientras que la temperatura diurna fue de 20 ºC. Externamente dichas temperaturas fueron de 9 y 18 ºC respectivamente.

- Haciendo una comparación, primero gráfica y después estadística, de la igualdad de la media de los mínimosde temperatura promedio, en el interior y el exterior de los invernaderos (tanto tradicionales como espaciales) de las 5 fincas, se encontró que en horas nocturnas hay una diferencia de al menos 1 ºC . Esto es importante porque ratifica que los invernaderos representan una protección contra el riesgo de heladas. Sin embargo, la protección del invernadero a temperaturas frías en general, es muy pobre. Se observaron temperaturas mínimas internas y externas muy similares. Este resultado enfatiza la necesidad de desarrollar posteriores ensayos de tecnología en

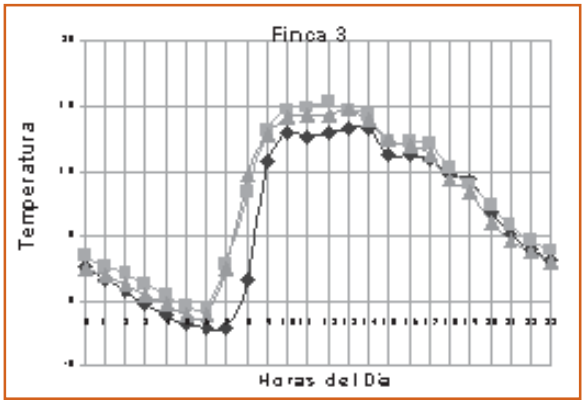

Figura 3. Temperatura promedio mínima en invernadero tradicional y espacial.

los invernaderos de la Sabana de Bogotá, para una adecuada protección contra temperaturas bajas. La figura 3, muestra el comportamiento presentado en una de las fincas. Este comportamiento fue muy similar en las 5 fincas.

Luminosidad

- La radiación PAR promedio para todas las fincas tuvo un comportamiento promedio similar en el rango de 1000 y 1200 mmol/s/m2. Dentro de los invernaderos, la tasa promedio de transmisión de radiación del plás-

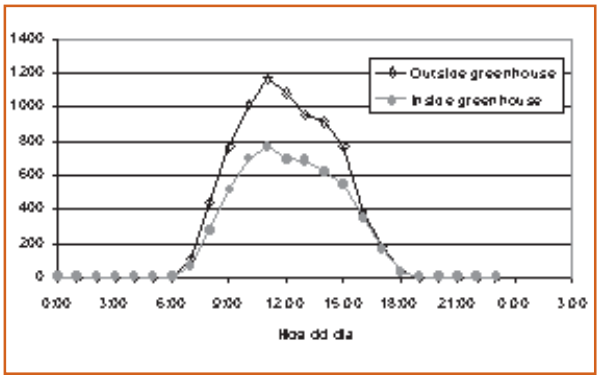

Figura 4. Promedio de luz cada hora (en µmol.m-2.s-) en finca 4 (superior) y finca 5 (inferior) tanto en el interior como en el exterior del invernadero.

tico está cercana al 70%, sin embargo, se observó una gran irregularidad en esta transmisión de luz, debido al tipo de plástico, a la edad y a la limpieza del mismo. La figura 4, muestra este comportamiento en una de las fincas.

- 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.

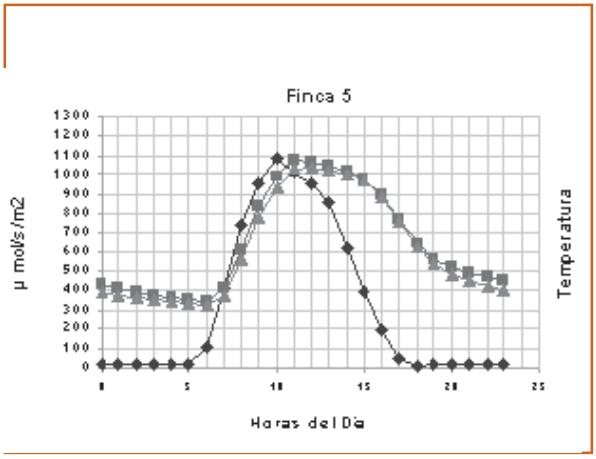

Figura 5. Temperatura promedio por hora de invernadero tradicional y espacial y radiación PAR externa. Datos tomados en cinco fincas de la sabana de Bogotá.

Este efecto que mantiene la temperatura dentro del invernadero, aunque el suministro de radiación esté disminuyendo, varía de una finca a otra, dependiendo del manejo que se tenga especialmente con las cortinas. En la figura 5, se puede apreciar este comportamiento en una de las 5 fincas estudiadas.

- Observando las gráficas de la figura 6, dónde se registran los grados-día desde diferentes estados fenológicos hasta florecer, puede notarse que el tiempo desde corte hasta cosecha fue mucho más variable entre tallos, que el tiempo desde los estados fenológicos siguientes hasta la cosecha. Esta variabilidad también fue cuantificada en términos de la desviación estándar obteniendo en promedio los siguientes resultados:

TABLA 1.

PINCH A CORTE		BROTACIÓN A CORTE		BOTÓN A CORTE		MOSTRANDO COLOR A CORTE	
m	**d**	**m**	**d**	**m**	**d**	**m**	**d**
1007	163	721	70	296	33	99	25

m: MEDIANA d: DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es importante anotar que al tener la escala de tiempo en grados-día, los resultados observados deben atribuirse a otras variables diferentes a la temperatura.

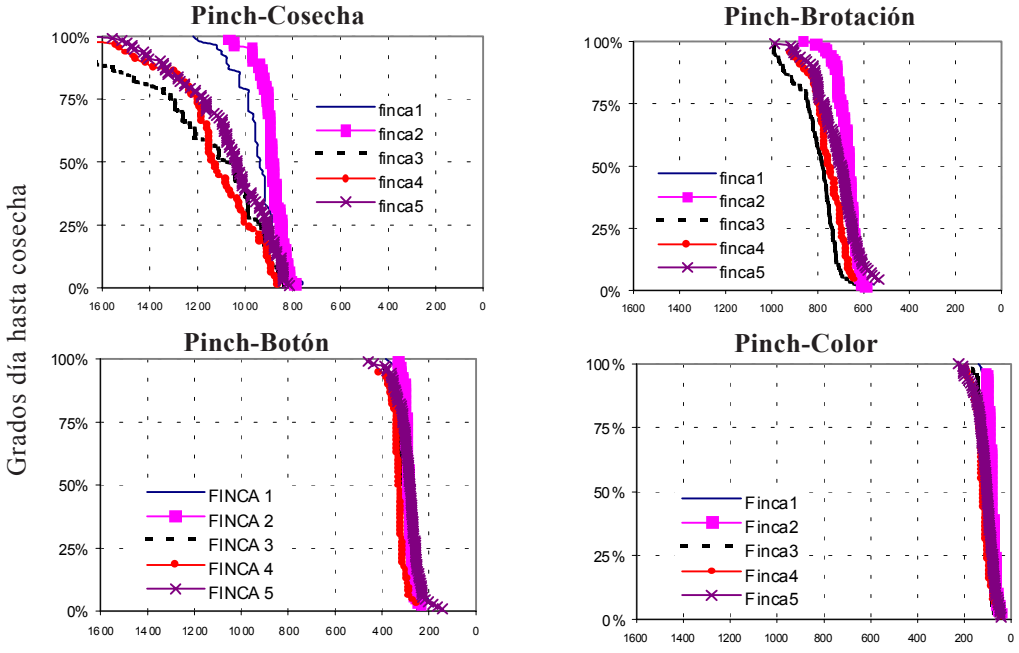

Figura 6. Grados día desde diferentes etapas hasta el corte

Tabla 2.

Finca	Grados-día			Días		
	Camino	Mitad	Borde	Camino	Mitad	Borde
F1	920	950	935	91	97	99
F2	925	940	970	107	108	112
F3	1070	1177	1151	121	139	129
F4	1054	1050	1000	105	107	109
F5	919	975	1026	92	97	108

- De la misma forma se observa en la tabla 2, que hay gran heterogeneidad entre las fincas en el comportamiento del ciclo de producción entre el camino, la mitad y el borde de las camas.

Modelo de Temperatura

El modelo para calcular la temperatura interna del invernadero basado en las condiciones exteriores de clima, permite predecir el efecto de condiciones variables de tiempo sobre la temperatura del invernadero, y en última instancia el efecto del clima exterior sobre en el crecimiento de las plantas.

Mediante métodos estadísticos de regresión lineal se comparó el clima exterior con la temperatura interior del invernadero en la finca 4. Se formularon 3 modelos matemáticos que buscaban predecir la temperatura promedio diaria en el interior en función de:

1. Las temperaturas promedio diarias externas:

$$\overline{T_{\text{int}}} = a + b * \overline{t_{ext}}$$

2. En función de la temperatura exterior y la integral de luz diaria:

$$\overline{T_{\text{int.}}} = a + b * \overline{t_{ext.}} + c * \int Luz_{ext.}$$

3. En función de la temperatura promedio exterior y nivel de luz

$$\overline{T_{\text{int.}}} = a + b * \overline{t_{ext.}} + c *$$

intensidad de luz externa.

Luego de calibrado cada modelo para los dos invernaderos de la finca 4 se validó la temperatura interna obtenida y se encontró:

a) El modelo tendió a sobrepredecir las temperaturas.

b) El modelo 2 mejoró para invernaderos tradicionales

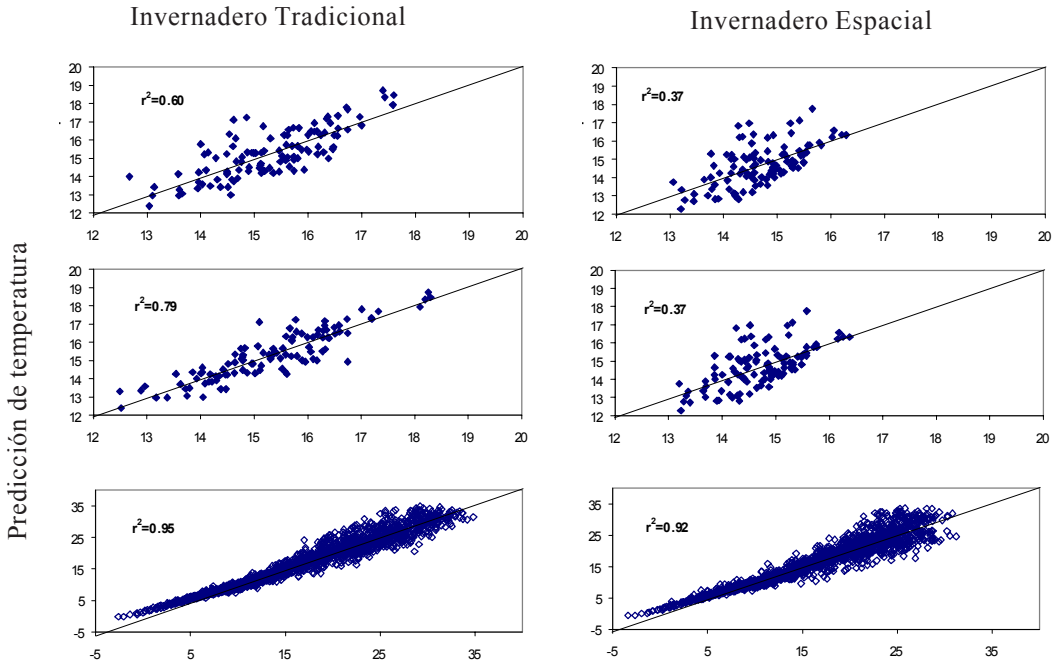

Figura 7. Tres modelos de predicción de temperatura en el invernadero basada en clima exterior. Modelo 1: Graficas Superiores, Modelo 2: Gráficas del Medio, Modelo 3: Gráficas inferiores.

(r2 pasó de 0.60 a 0.79), pero para el invernadero espacial r2 bajó a 0.37.

c) El modelo 3 dio un valor de r2 bastante alto para los dos tipos de invernadero con los parámetros siguientes:

$$\overline{T_{\text{int}}} = 0.2887 + 1.0825 * \overline{t_{ext}} + 0.0003979 *$$

(Intensidad de luz interna)

y para el espacial:

$$\overline{T_{\text{int}}} = 0.07895 + 1.1339 * \overline{t_{ext}} + 0.001739 *$$

(intensidad de luz interna)

Los tres modelos se pueden visualizar en la figura 7.

Conclusiones

Teniendo en cuenta las prácticas de manejo cultural de cada finca durante el estudio se puede concluir que:

- No hay diferencia en la temperatura promedio-hora entre invernaderos tradicionales y espaciales.
- En las horas nocturnas (5 p.m. a 6 a.m.), no hay diferencia entre las temperaturas promedio en el interior y exterior del invernadero.
- En las horas nocturnas, hay una diferencia del al menos 1ºC entre la temperatura mínima promedio entre el exterior y el interior tanto en invernaderos tradicionales como espaciales.
- La temperatura promedio en el invernadero, durante la noche, fue consistentemente de 9ºC, y la temperatura promedio diurna fue de 20ºC. Externamente dichas temperaturas fueron de 9 y 18ºC respectivamente.
- La protección del invernadero a temperaturas frías, en general, fue muy pobre. Se observaron temperaturas mínimas internas y externas muy similares. Este resultado enfatiza la necesidad de desarrollar posteriores ensayos de tecnología en invernaderos para una adecuada parotección contra temperaturas bajas.
- La transmisión de luz en el invernadero fue cercana al 70%.
- Se encontró mucha variación entre las fincas en la forma de las curvas de producción, debida a las diferencias de manejo.
- El tiempo de brotación a cosecha fue más consistente en términos de grados-día que el tiempo de pinch a brotación y pinch a cosecha. Debido a esto, será más fácil predecir la cosecha, a partir de estados de desarrollo del tallo como brotación y/o botón visible, que a partir de la fecha de pinch.
- En producción continua, los picos de producción se encuentran entre 95 y 130 grados-día promedio desde el pinch hasta la cosecha. Esto contrasta con los valores considerados típicos para un pinch de San Valentín que oscilan entre 86 y 96 días.

Terminología

- **Cama:** Filas de cultivo.
- **Borde**: Parte de una cama, ubicada en la zona más cercana a las paredes plásticas del invernadero.
- **Camino central**: Parte de una cama, ubicada en la parte más cercana al camino central.
- **Grado día**: Medida del nivel de acumulación de energía en función de la temperatura, calculada como el promedio de la temperatura del aire en un día, durante el ciclo de producción menos un valor base de temperatura multiplicada por el número de días.
- **Invernadero Espacial**: Invernadero con estructura metálica, mas alto que un invernadero tradicional
- **Radiación PAR**: (Photosynthetic Active Radiation) Cantidad de luz recibida.
- **Pinch**: Corte o poda cuyo objetivo es acelerar el nacimiento de una flor.
- **Brotación**: Estado fenológico en el que se puede apreciar que en la yema (punto de pinch), emerge una ramificación que posiblemente se convierta en flor.
- **Botón visible**: Estado fenológico en el que es posible visualizar el capullo de la futura flor.