

Modelado y monitoreo de un micro clima para angiospermas género *Phalaenopsis* *

Bernardino Benito Salmeron-Quiroz *
Rivero Monroy Maria Jose * Villegas Medina Gerardo *

* *Instituto Politecnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco (e-mail: bsalmeron@ipn.mx, mary_jose_060995@hotmail.com, gvm.ipn@gmail.com)*

Abstract: En este documento se plantea una alternativa tecnológica al método tradicional de cultivo de Orquídeas que satisface la exigencia de los cuidados necesarios para el desarrollo de la misma. Se abordará el tema de la sobre explotación del hábitat de la orquídea, su demanda en el mundo y una alternativa para reducir la presión de extracción de las poblaciones silvestres, se propone la creación y acondicionamiento de un micro-clima automatizado para la familia Orchidaceae orientando las variables de control al género *phalaenopsis*, se implementará monitoreo en tiempo real de la temperatura y humedad estudiando el comportamiento del sistema para implementar el algoritmo de control adecuado, así mismo se simulará utilizando la herramienta Matlab- Simulink para poder hacer predicciones del comportamiento del sistema y reproducir las condiciones ambientales lo más fielmente posible para obtener la floración y maduración esperada.

Keywords: Modelado, Automatización, Monitoreo, Temperatura, Humedad.

1. INTRODUCCIÓN

La floricultura ha alcanzado un máximo histórico de productividad y competitividad. Los Países Bajos, Estados Unidos y Japón son los tres productores y consumidores globales más importantes, a pesar de la diversidad de especies para flor de corte que hacen la producción comercial mundial, el grueso de la industria está concentrado en muy pocos géneros, principalmente: rosa (*Rosa* sp.), clavel (*Dianthus caryophyllus*), crisantemo (*Chrysanthemum*), lili (*Liliales*) y *orquídeas*, Hanks (2015).

Entre esos cultivos de tradición mundial, el cultivo de orquídeas es de los más sobresalientes, las orquídeas, una de las familias botánicas más grandes de angiospermas (plantas con flores), Dressler (1993), se ubican entre las plantas más vulnerables, debido a la sobreexplotación del medio silvestre, tráfico ilegal, pérdida de hábitat y cambio climático.

Estados Unidos es uno de los mayores consumidores de orquídeas, recibe las mayores importaciones de Países Bajos, seguido de Tailandia y Alemania, Hanks (2015).

El género *Phalaenopsis* es la orquídea más popular en dicho país, y representa 75% de las ventas de orquídeas en maceta, Griesbach (2002). Su producción pasó de 9.58 millones de unidades en 1997, a 15.4 millones en 2007 (incremento de 61%). Mientras que el valor de las ventas

totales aumentó 80%: de 70 millones USD a 126 millones USD en el mismo periodo, Palma (2019).

El comercio ilegal es frecuente y notorio a nivel nacional. Por ejemplo, es común encontrar en las calles de estados del sureste y centro del país, personas ofreciendo plantas de orquídeas provenientes de la vida silvestre a bajos precios.

En los últimos diez años se está documentando metódicamente el comercio ilegal de orquídeas en México. Flores-Palacios y Valencia-Díaz (2007) reportaron que, en un punto de venta ilegal de plantas vasculares en Xalapa, Veracruz, México, Orchidaceae fue la familia más comercializada (81%) de las ventas. Los autores encontraron que 27 especies de las comercializadas fueron epifitas, donde 16 de ellas fueron orquídeas en peligro de extinción (P) y nueve en la categoría sujetas a protección especial (Pr), según la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT, 2010). Asimismo, Munguía-Lino et al. (2010) reportaron que de 131 especies comercializadas en el mercado de la flor de Tenancingo y Jamaica, México, Orchidaceae fue la familia más representativa en cuanto a géneros y especies, y registraron dos en la categoría Pr. Asimismo, Cruz-García et al. (2015) reportaron 37 especies de orquídeas en venta por grupos étnicos, la mayoría de especies endémicas, en un mercado de Tlaxiaco, Oaxaca, Agroproductividad (2017).

El invernadero, así como otros sistemas de protección de cultivos permiten justamente controlar los factores

* Artículo financiado por CONACYT Mexico.

climáticos en el que se desarrolla el cultivo. Un desarrollo óptimo de la planta, depende de la incidencia favorable de factores tales como la temperatura, humedad y luminosidad entre otros, Invernaderos (2019). La producción masiva de Orquídeas en invernadero contribuiría en diferentes aspectos a la sociedad, aspectos de carácter Tecnológico, Social y económico.

Para un crecimiento óptimo de la orquídea en un micro clima, se deben de controlar y monitorear parámetros tales como agua, temperatura, luz, humedad entre otras. En este artículo se abordara el modelado y monitoreo de la temperatura de tal forma que esta pueda permitir un adecuado crecimiento de la orquídea, ya que es muy sensible a los cambios de temperatura.

El artículo está organizado de la siguiente forma, en la sección 2, se presenta el diseño del micro clima, el modelado de la temperatura esta presentado en la sección 3, la validación y simulación de resultados esta dado en la sección 4, finalmente el artículo presenta algunas conclusiones y observaciones en la sección 5.

2. INVERNADEROS SEMI-AUTOMATIZADOS O MICRO CLIMA

Introducir estrategias tecnológicas al control de las variables del MC contribuye a una mejora evidente en la calidad de los cultivos, aunado a esto la implementación de nuevos métodos de siembra como la aeroponía proponen revolucionar el método tradicional y de esta manera optimizar en más de una manera la agricultura contemporánea.

2.1 Hidroponía

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados Cultivos sin suelo. El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas hydro “agua” y ponos “trabajo”. Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición. La Fig. 1 representa la comparación entre un cultivo tradicional y un cultivo hidropónico, el cultivo tradicional requiere riegos en donde no todos los nutrientes son aprovechados por la planta, las raíces presentan dificultad de expansión, e incrementa la posibilidad de plagas. En el cultivo hidropónico las raíces tienen fácil expansión, los nutrientes son aprovechados en su mayoría y permite el uso eficiente de los recursos. El agua y el dióxido de carbono (CO_2) contribuyen a la alimentación de las plantas.

La técnica de cultivo Hidropónico se divide en diferentes métodos que difieren en la forma de riego, siendo la base de todos *el cultivo sin tierra*, cada uno de éstos métodos tiene diferentes ventajas respecto a los demás, una vez analizadas estas ventajas se encontró que la Aeroponía presenta una ventaja de suma importancia y por ello es que se ha elegido este método de cultivo en específico, en

el método aeropónico la raíz tiene oportunidad de captar más dióxido de carbono, esto permite que su crecimiento sea cinco por ciento más rápido que con otros sistemas y el desarrollo de las plantas es precoz, Gloria Samperio (2012), dado que la orquídea tiene un periodo largo de crecimiento, se pretende aplicar éste método con el fin de acelerar éste periodo de crecimiento de la Orquídea.

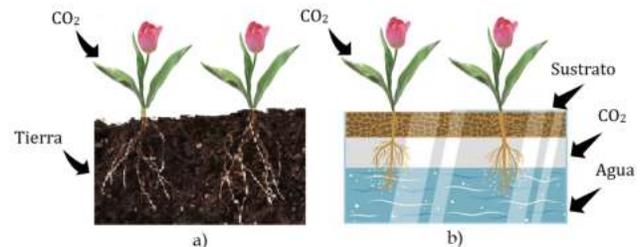


Fig. 1. a) Cultivo tradicional (Cultivo en suelo), b) Cultivo Hidropónico (Cultivo sin suelo)

2.2 Aeroponía

Este método de cultivo es una modificación del sistema hidropónico cerrado. El sistema para la sujeción de la planta es similar al que se usa en NFT (Nutrient Film Technique), pues las raíces deben estar colgadas dentro de un contenedor vacío y en completa oscuridad. De esta manera, todas las raíces reciben la solución nutritiva en forma de niebla intermitente, la solución nutritiva se suministra por nebulización controlada por temporizadores, Gloria Samperio (2012).

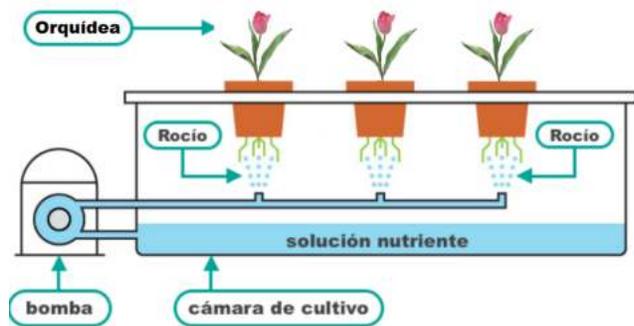


Fig. 2. Cultivo Aeropónico

3. MODELO DEL MICRO-CLIMA

El acondicionamiento térmico de los invernaderos tiene una importancia fundamental, tanto para prevenir los daños producidos por descensos de temperatura imprevistos y excepcionales, como para proporcionar a las plantas condiciones inmejorables para su desarrollo, A. Alpi (1999).

En este trabajo se considera la construcción de un invernadero con estructura vertical la cual consiste en distribuir el cultivo en niveles formados por una estructura

de acero en forma de *estante*, con este tipo de organización se pretende el ahorro de espacio ya que la agricultura vertical es capaz de aumentar entre un 40% la producción con respecto a la convencional, Agricultores (2019).

El invernadero estará compuesto por una estantería de 3 niveles de dimensiones 91.4 cm An x 45.7 cm Pr x 1.83 m Al, teniendo en cada nivel ocho orquídeas en crecimiento dando un total de 16 orquídeas en el estante ya que uno de los niveles será destinado al suministro de agua. Se aislará al MC con un recubrimiento de Polietileno de baja densidad, la calefacción será por medio del riego y la humedad se proporcionará con el riego de aspersores, se implementará un ventilador para ayudar a la regulación de temperatura y humedad detectados por el sensor DHT11.

3.1 Temperatura

Dado el método de calefacción del sistema y la alimentación de este, tenemos que el efecto a evaluar se trata del efecto Joule del cual se partirá para el modelo teórico de la temperatura del Micro-Clima (MC) para su posterior regulación. El efecto Joule ocurre cuando se da el desprendimiento de calor estimulado por el movimiento de los electrones (corriente eléctrica) al circular por un material determinado y a la oposición que presenta el material al paso de la corriente. El método de calefacción del sistema consiste en un conductor al cual se le hace pasar cierta cantidad de corriente eléctrica durante determinado tiempo, tenemos que el calor generado está dado por:

$$q_e(t) = Ri^2(t) \quad (1)$$

$$q_a(t) = q_e(t) - q_s(t) \quad (2)$$

$$q_s(t) = \frac{T_i(t) - T_e(t)}{R_p} \quad (3)$$

$$q_a(t) = C \frac{dT_i(t)}{dt} \quad (4)$$

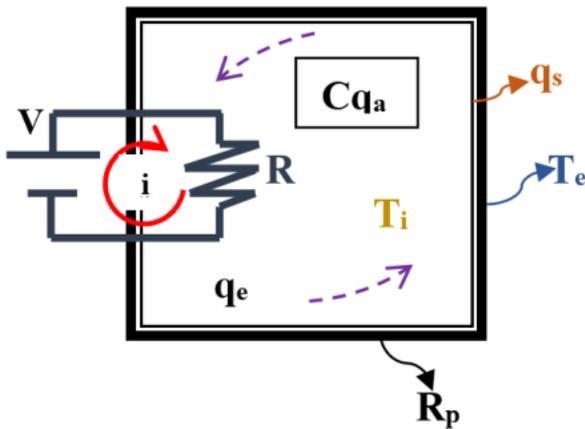


Fig. 3. Circuito representativo de Temperatura del Micro-Clima

Table 1. Variables que influyen en el modelado de la Temperatura.

Variable	Nombre
$R_p(t)$	Resistencia térmica
R	Resistencia de eléctrica.
$q_e(t)$	Calor que disipa el sistema.
$T_i(t)$	$T_{max} \leq 35^\circ C$
$q_a(t)$	Calor sentido.
$q_s(t)$	Calor de salida (calor disipado).
$T_e(t)$	Temperatura externa (Medio ambiente).
C	Capacitancia térmica del material.

Dónde R, R_p y C son Constantes. Y se proponen los siguientes valores:

Table 2. Valores propuestos.

Variable	Valor
$R_p(t)$	0.43 [$^\circ KW^{-1}$]
R	20 [Ω]
C	1900 [$JKg^{-1}K^{-1}$]

3.2 Humedad

El modelo climático dinámico invernadero más utilizado, basado en energía y la masa equilibrada dentro del invernadero, fue desarrollado por Albright. Este modelo simplificado contiene ecuaciones diferenciales no lineales que describen el equilibrio del vapor de agua. Sólo las alteraciones primarias se consideran: temperatura exterior, la humedad, y la radiación solar, Manuel Guerrero (SA).

Table 3. Variables que influyen en el modelado de la Humedad.

Variable	Nombre
V	Volumen del invernadero
S_i	Energía solar radiante intercambiada
Q_{fog}	Capacidad del sistema de niebla
$\dot{V}(t)$	Tasa de ventilación
W_{in}	Humedad absoluta del interior
W_{out}	Humedad absoluta del exterior
$E(S_i, W_{in})$	Tasa de evapotranspiración de las plantas

$$\frac{dW_{in}}{dt} = \frac{1}{V} Q_{fog}(t) + \frac{1}{V} E(S_i, W_{in}) - \frac{\dot{V}(t)}{V} [W_{in}(t) - W_{out}(t)] \quad (5)$$

4. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN

En esta sección mostraremos la simulación del micro clima presentado en la sección anterior, para ello realizamos las ecuaciones no lineales en el ambiente de programación de Matlab-simulink. A sí mismo, se muestra el monitoreo empleado para el Micro-Clima.

Con el fin de tener un registro de los datos en tiempo real, se implementa la herramienta *Monitor serie* de Arduino, la cual, mediante un programa y el sensor de Temperatura

y Humedad DHT11 nos estará arrojando los valores de Temperatura y Humedad dadas en el interior del Micro-Clima, de esta manera se podrá implementar el control adecuado al sistema así como aprovechar al máximo los recursos.

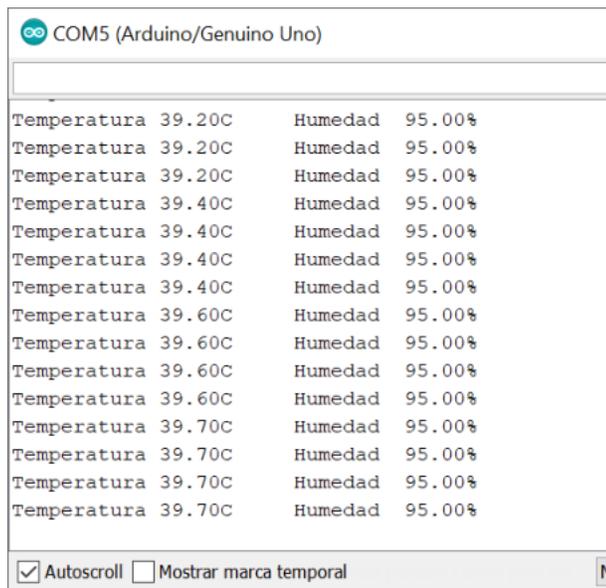


Fig. 4. Monitoreo de Temperatura y Humedad en LA.

En la Fig. 5 se implementa el modelo matemático obtenido en la sección 3.

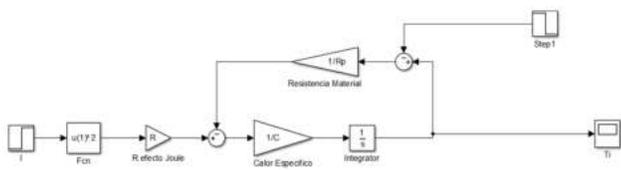


Fig. 5. Modelo en Simulink de la Temperatura del MC en Lazo abierto.

El modelo tomo en cuenta incremento del calor mediante la entrada I a los 6000 segundos y una disminución de la temperatura ambiente (paso de tarde a noche) T_e , la cual se reduce para fines de simulación de 25° a 14° a los 12 000 segundos de iniciada la simulación. El modelo es presentado en lazo abierto, sin tomar en cuenta el control que realizaremos, lo cual da como resultado la Fig. 6.

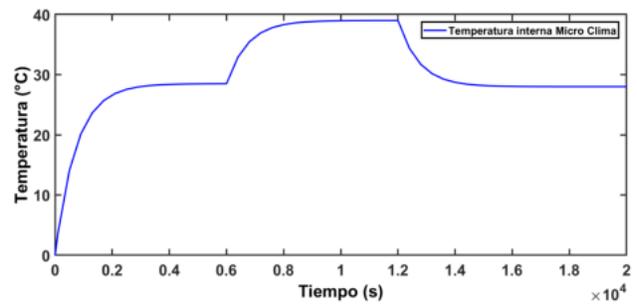


Fig. 6. Respuesta de la Temperatura interna del MC.

Como era de esperarse el modelo sigue el comportamiento del aumento de la corriente y variación de temperatura externa, que influyen de manera no lineal sobre nuestro modelo del micro clima, por lo cual se puede inferir que el modelo propuesto es una representación del fenómeno de la temperatura dentro de un micro clima. Es importante notar que el tiempo de estabilización sin control y en lazo abierto, a cualquier cambio tanto de entrada como de perturbación externa, es alrededor de 40 minutos.

Ahora bien, es importante mencionar que la temperatura máxima que se debe de alcanzar el micro clima en el interior es de 35°, después de esta temperatura la orquídea sufre daño, por lo cual se presenta la propuesta del controlador PID para el micro clima. La temperatura sugerida en la literatura para esta orquídea en particular es de 30°, por lo que en la simulación con el PID se realiza con el valor de 30° en la consigna.

Para fines prácticos se realizó la sintonización del controlador tipo PID (Proporcional-Integral-Derivativo), con la técnica del segundo método de Nichols-Ziegler .

Con este procedimiento de sintonización basados en la curva de reacción del proceso, utilizando un controlador puramente proporcional y mediante un proceso iterativo, el procedimiento requiere aumentar paulatinamente la ganancia del mismo hasta lograr que el sistema entre en una oscilación sostenida ante un cambio del escalón en el valor deseado. La ganancia en este punto es la ganancia última $K_c u$ y el periodo de la oscilación, el periodo último T_u , de esta forma logramos estimar la tripleta necesaria para el controlador PID.

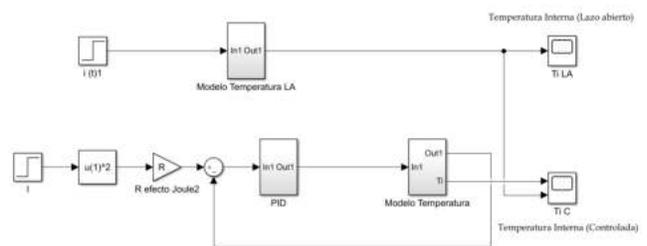


Fig. 7. Controlador PID implementado.

Dando los valores del controlador:
 $K_p = 60$ $K_i = 0.007$ $K_d = 0.1$

Con estos valores del controlador, realizamos la validación de nuestro modelo y micro clima para el caso del control de temperatura, dando como resultado la Fig. 8:

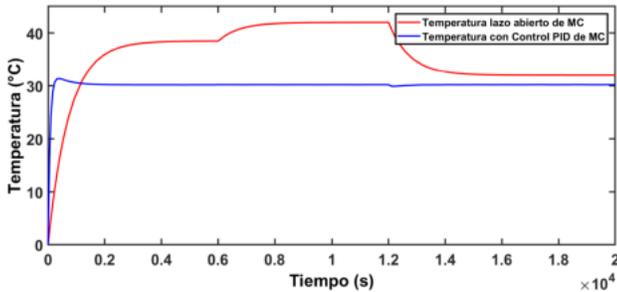


Fig. 8. MC lazo abierto (rojo) y con controlador PID (azul).

Como se puede observar, el modelo no lineal del micro clima es robusto tanto a variaciones de la entrada como a perturbaciones externas (T_e), se observa que el Tiempo de respuesta a tales cambios es de alrededor de 2 minutos, por lo que se muestra también la efectividad del controlador, que monitorea y controla el micro clima (MC), pasando de 40 minutos en lazo abierto y sin PID, a 2 minutos del MC, con PID y en lazo cerrado.

Así mismo, en la Fig. 9 se muestra el error en $^{\circ}C$ muy aceptable, ya que se tiene un error promedio de 0.3° , una vez que el MC es estabilizado.

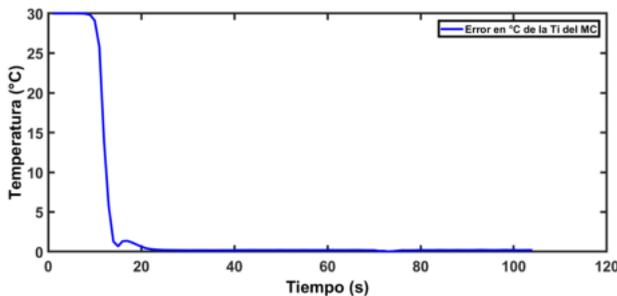


Fig. 9. Error entre Consigna y MC controlado.

5. CONCLUSIONES

Este artículo, muestra el resultado hasta el momento del diseño y desarrollo de un micro clima para crecimiento de orquídea. Se muestra en la sección 2 las técnicas que se están validando, debido a la complejidad del Sistema completo del Micro Clima, en la sección 3 se da el modelo de la temperatura desarrollado para este Proyecto, en la sección 4 se muestran los resultados obtenidos tanto para la validación y simulación tanto del modelo matemático del proceso no lineal como la propuesta del controlador en su forma de integradores para el control de la temperatura y que esta sea controlable, robusta y estable a 30° ,

cabe mencionar que la herramienta de monitoreo en Arduino es de suma importancia ya que ofrece ventajas considerables como alta compatibilidad con diferentes software de calculo matemático como MATLAB así como la gran variedad de sensores que son compatibles con la placa, el fácil manejo que ofrece Arduino permite enfocar atención a los temas que apremian en el trabajo como el control de la temperatura así como el correcto manejo e interpretación de los datos recabados.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo obtenido así como a la comunidad de ES-IME Azcapotzalco por las recomendaciones y orientación brindada a este proyecto.

Este trabajo pertenece a la sección de Posgrado de ESIME Azcapotzalco y forma parte del conjunto de temas de tesis ya registrados por la institución.

REFERENCES

- A. Alpi, F. Tognoni (1999), *Cultivo en Invernadero*. Mundi-Prensa.
- Dressler R.L.(1993), *Phylogeny and Classification of the Orchid Family*. Dioscorides Press, Portland, Oregon. USA.
- Gloria Samperio (2012), *Hidroponía para Dummies*. *Hidroponía para Dummies*
- Griesbach R.J. (2002), *Development of Phalaenopsis Orchids for the Mass-Market*. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA.
- Hanks G.(2015), *A review of production statistic for the cut-flower and foliar sector 2015 (part of AHDB Horticulture funded project PO BOF 002a)*. *The National Cut Flower centre*.
- Pablo Alvarado V, (2003), *Invernaderos*. Biblioteca virtual Universal.
- Palma M. A., Yu-Jen C., Hall Ch., Bessler, D., Leatham D.(2010), *Consumer Preferences for Potted Orchids in the Hawaiian Market*. *HortTechnology*.
- Tejeda-Sartorius, Téllez-Velasco, Escobar-Aguayo . (2017), *Importancia y aprovechamiento sustentable de productos forestales no maderables del bosque de niebla: Estudio de caso Orquídeas; Estado de conservación de orquídeas silvestres (Orchidaceae)*. *Índice de revistas Mexicanas de divulgación científica y tecnológica, CONACYT, Vol. 10*.
- Manuel Guerrero (SA), *Control Hidropónico*. Biblioteca de Ingeniería
- Agricultures, red de especialistas en agricultura (2019), *Agricultura vertical para el mundo*. <http://agriculturers.com/agricultura-vertical-para-el-mundo/>