

Estabilización de Humedad Relativa en cámara de temperatura controlada

Bigliani Juan Cruz[†], Julián Leandro[†], Chesini Ezequiel[†] y Taborda Ricardo A.M.[†]

[†] LIADE - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

jbigliani@efn.uncor.edu

ljulian@efn.uncor.edu

echesini@efn.uncor.edu

rtaborda@efn.uncor.edu

Resumen—Se presenta en este artículo una investigación donde se analizan los factores que influyen en las variables temperatura y humedad dentro de una cámara de temperatura controlada. El objetivo del trabajo es determinar si la humedad puede ser controlada independientemente de la temperatura con el fin de implementar una modificación en el sistema para estabilizar la humedad relativa y desacoplarla del sistema de enfriamiento de la cámara. Luego de exponer los fundamentos teóricos se presentan las modificaciones que deben realizarse en la cámara y las mediciones que demuestran las mejoras en términos de estabilidad de la humedad relativa.

Palabras Clave— cámara de ambiente controlado – control humedad – humedad relativa.

1. INTRODUCCIÓN

Para la germinación de distintas especies o cultivos se necesitan condiciones ambientales optimas según la naturaleza biológica de las mismas [1]. Así también en la cría de insectos se deben tener en cuenta factores ambientales según el hábitat de los mismos [2]. Las cámaras de ambiente controlado ayudan a modelizar estos hábitats para que científicos desempeñen tareas de investigación en cada entorno ambiental. Por ejemplo según las diferentes especies, algunas se ven favorecidas a ambientes húmedos como así también a temperaturas bajas, en otros casos se ven beneficiadas por la sequedad en condiciones de temperaturas elevadas [3]. Poder controlar factores como temperatura y humedad relativa son de gran importancia a la hora de realizar mediciones sobre estos ambientes.

En el LIADE, Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo, dependiente del Departamento de Electrónica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Córdoba se fabrican cámaras de ambiente controlado para uso en ensayos de ciencias agropecuarias [4]. Las cámaras

se construyen modificando exhibidoras verticales comerciales, para que controlen temperatura y luminosidad.

El mercado de cámaras que controlan estos parámetros es pequeño y se encuentran pocos sistemas que puedan mantener una humedad relativa constante de acuerdo a los requerimientos del usuario, lo cual es de gran importancia a la hora de modelizar un ambiente. Esto se debe a que la humedad relativa está fuertemente ligada a las variaciones de la temperatura y a la forma en que trabaja el sistema de enfriamiento de las cámaras.

Con la intención de controlar la humedad relativa utilizando una cámara existente con temperatura controlada, se analizaron las causas de esas variaciones de humedad y se caracterizó su comportamiento. Con la información obtenida se evaluaron distintas opciones para estabilizar la humedad relativa y hacer factible el control de esta variable sin modificar el mecanismo de enfriamiento del equipo.

2. MARCO TEÓRICO

Se define humedad absoluta a la masa de vapor de agua que se encuentra en el aire por unidad volumen. A su vez se denomina humedad relativa al porcentaje de agua que contiene el aire en relación con el máximo que puede contener a la temperatura en que se encuentra. Esta cantidad máxima disminuye al bajar la temperatura y si esto ocurre la humedad relativa aumentará sin que cambie la cantidad de agua contenida en el aire. Si la temperatura sigue disminuyendo llegará un punto en que la humedad relativa será del 100% y a este valor se lo denomina temperatura de punto de rocío ya que si la temperatura baja aún más se produce condensación. La temperatura tiene una relación inversa con la humedad relativa en un determinado volumen de aire. Esta relación es de gran importancia a la hora de diseñar sistemas donde se deseen controlar estos dos parámetros.

En una cámara de ambiente controlado, pequeñas variaciones de temperatura pueden producir grandes cambios sobre la humedad relativa del sistema. Para poder controlar estos dos parámetros es necesario tener en cuenta que si hay lugares del interior de la cámara en que la temperatura esté por debajo del punto de rocío se producirá una condensación de agua en dichos puntos. Esto afectará a la estabilidad de la atmósfera de la cámara lo que derivará en un sistema de control de mayor complejidad por el entrelazamiento de las variables. Entender el comportamiento de estos fenómenos es de esencial importancia a la hora del análisis y el diseño de cámaras que requieran un control de humedad.

2.1. Caracterización inicial de la cámara

Se utilizó para el desarrollo una heladera exhibidora vertical de 400L, con un control electrónico de temperatura cuyos actuadores son una placa evaporadora en la pared trasera del interior para disminuir la temperatura y una resistencia eléctrica para elevarla. La placa evaporadora es parte del sistema de frío con el que cuenta la cámara original junto con el motor y el compresor para hacer circular el gas. El control de temperatura que utiliza la cámara es todo nada ya que el compresor no puede prenderse y apagarse con un periodo menor a los dos minutos ya que de hacerlo este puede dañarse.

Se realizaron mediciones de humedad dentro de la cámara para analizar la variación de la humedad en el recinto mientras está en funcionamiento el control de temperatura. En la Fig. 1 se puede ver la variación de la temperatura del aire (T_a), de la temperatura de la placa condensadora (T_p) y la humedad del aire (H_a), con el control de Temperatura ajustado a 10°C . Los registros se hicieron con una temperatura ambiente de 20°C y se realizaron las siguientes observaciones en base a las mediciones realizadas:

- La humedad relativa presenta fluctuaciones cercanas al 10% y la frecuencia de estas es igual a la frecuencia de las variaciones de temperatura.
- Si bien la temperatura del aire se mantiene entre 9°C y 11°C , la temperatura de la placa varía entre 2°C y 10°C aproximadamente.
- La temperatura y la humedad relativa muestran una relación directa cuando debería ser inversa al menos en el caso en que estas variaciones sean producidas por las variaciones de temperatura en el aire y no por cambios en la cantidad de agua contenida en este.

A raíz de estas observaciones se pudo determinar que la humedad relativa varía de esta manera debido a que cuando enciende el equipo de frío la temperatura de la placa evaporadora disminuye por debajo de la temperatura de punto de rocío y parte del agua contenida en el aire se condensa en esta.

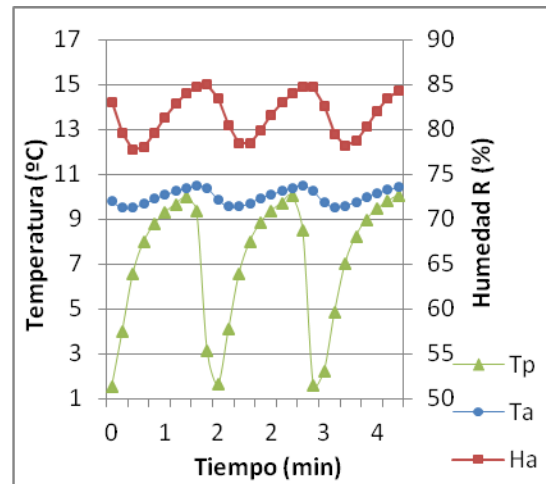


Figura 1: medición inicial en cámara

Este fenómeno no genera inconvenientes en las cámaras que solo requieren un control de temperatura, pero pensar en un control de humedad sin evitar esta condensación sería probablemente más difícil que intentar eliminar o disminuir esta condensación, ya que de no hacerlo el sistema de control de humedad debería humidificar cada vez que se condense agua en la placa al encenderse el sistema de frío y secar cuando se apague. Se analizaron tres posibles modificaciones a implementar en la cámara para evitar esta condensación y lograr que la humedad no se vea afectada por el control de temperatura: aumentar la superficie de la placa evaporadora, aumentar la capacidad calorífica de la placa evaporadora e implementar un doble fondo en la cámara.

2.2. Implementación

El sistema de enfriamiento es el original de la heladera y este no puede prenderse nuevamente luego de haberse apagado sin esperar al menos dos minutos. Por esto, es que el sistema de control de temperatura es "todo nada" y si bien existe la posibilidad de modificar el sistema para hacerlo proporcional (mediante electroválvulas y tanque de reserva) esta opción no es preferible ya que encarecería el sistema y se debería tercerizar. Con el objetivo de estabilizar la humedad dentro de la cámara sin hacer grandes modificaciones en el sistema se analizaron que parámetros físicos podrían cambiarse para lograr que el agua no se condense en la placa debido a la disminución de temperatura.

Para mantener en la cámara una temperatura menor a la temperatura ambiente se debe evacuar el calor que ingresa a través de las paredes de esta. La diferencia de temperatura (ΔT) entre la placa y el aire depende de la cantidad de calor por unidad de tiempo (H) que se transfiere, del área de esta y del coeficiente de convección entre la placa y el aire.

$$H = \rho \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Para que no se condense agua cuando el sistema de enfriamiento está encendido la temperatura de la placa no debe bajar de la temperatura de punto de rocío y éste depende de la temperatura y de la humedad del aire en el interior de la cámara. Para una temperatura entre 10°C y 30°C el punto de rocío es aproximadamente 4°C menor a la temperatura del aire cuando la humedad es de 80%, siendo este el menor salto térmico para las especificaciones requeridas. Esto quiere decir que si la placa condensadora (o cualquier punto del interior de la cámara) disminuye su temperatura 4°C por debajo de la temperatura del aire, el agua se condensará y la humedad disminuirá.

Analizando la Ec. (1) puede verse que para disminuir ΔT podemos aumentar el coeficiente de convección aumentando por ejemplo la circulación de aire, aumentar el área de la placa en contacto con el aire o disminuir H . Otra posibilidad sería aumentar la capacidad calorífica de la placa para aumentar su inercia térmica y si bien esto no cambiaría la temperatura media, si disminuiría las variaciones durante el ciclo encendido-apagado. La realización de algunas pruebas demostraron que incrementar la circulación de aire no evita el enfriamiento excesivo de la placa y una mayor corriente no cumplirían con los requerimientos necesarios para el uso, debido a esto se descartó implementar una mejora de esta manera. También fue desestimada la opción de aumentar la capacidad calorífica de la placa evaporadora ya que esto generaría un retardo que complejizaría el sistema de control.

Debido a esto, la opción que se adopta para tratar de solucionar el problema es aumentar la superficie de la placa en contacto con el aire y para hacer esto se analizaron dos opciones. La primera fue aumentar la superficie de la placa colocando una lamina plisada de aluminio en contacto con ella y la segunda fue colocar un doble fondo de un material conductor de calor separado de la placa condensadora para que sea este el que se enfríe y extraiga el calor de la cámara. De estas dos se eligió la segunda opción ya que es más simple su implementación, es de menor costo y además de aumentar la superficie en contacto entre el aire y la pared fría disminuye el área del recinto a controlar en contacto con la temperatura exterior (A_{p2}). Debido a esta disminución, la cantidad de calor que ingresa será menor y también disminuirá la cantidad de calor que se deberá evacuar ($H'2$). En consecuencia, el ΔT entre el doble fondo y el aire disminuirá aún más por este motivo. La figura 2 muestra un esquema de esta implementación.

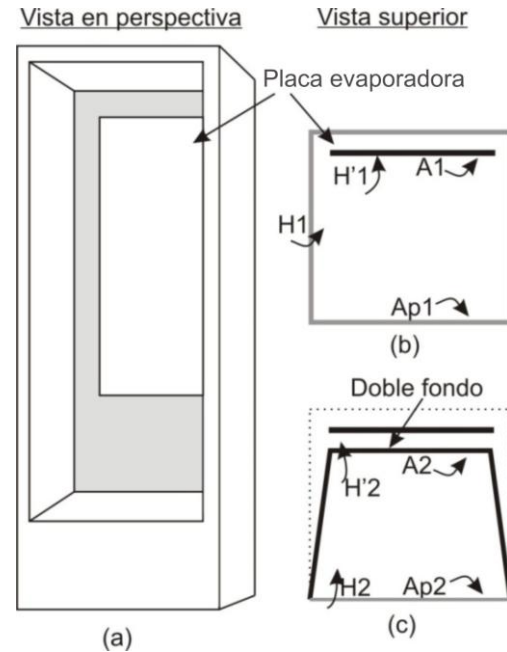


Figura 2: implementación de doble fondo

2.3. Cálculos teóricos

Para poner a prueba la hipótesis y analizar que sucede al aumentar el área primero se calculó teóricamente el valor de ΔT que se necesitaría con el doble fondo para mantener la temperatura en 10°C.

El H'_1 que evacua la placa en la cámara original y el H'_2 que extraerá el doble fondo propuesto están dados por las Ec. 2 y 3 respectivamente.

$$H'_1 = q_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1 \quad (2)$$

$$H'_2 = q_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 \quad (3)$$

En donde A_1 es el área de la placa condensadora, A_2 el área del doble fondo, ΔT_1 la diferencia de temperatura entre la placa y el aire en la cámara original, ΔT_2 la diferencia de temperatura entre el doble fondo y el aire y q el coeficiente de convección de calor para cada caso.

Para que la temperatura interna no cambie la cantidad de calor que entra a la cámara a través del área en contacto con el exterior A_p y la cantidad de calor que saca la placa a través del área A_2 deben ser iguales, entonces tenemos:

$$H_1 = H'_1 \quad (4)$$

$$H_2 = H'_2 \quad (5)$$

Debido a que el área de pérdida disminuye al colocar el doble fondo, el H_2 será menor que el H_1 y para el caso propuesto se tiene que:

$$2,7 \cdot H_2 = H_1 \quad (6)$$

Por la Ec. 4 y 5 también se tiene que:

$$2,7 \cdot H'_2 = H'_1 \quad (7)$$

Y reemplazando la Ec. 2 y 3 en la Ec. 6 se obtiene la Ec.7.

$$2,7 \cdot q_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 = q_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1 \quad (7)$$

Conociendo las áreas A_1 , A_2 y suponiendo iguales los coeficientes de convección se puede calcular el ΔT_2 y para un doble fondo armado como se muestra en la Fig.1.c el valor calculado fue $\Delta T_2=0,8^\circ\text{C}$.

2.4. Pruebas experimentales

Con el objetivo de hacer unas primeras mediciones para analizar empíricamente la respuesta del doble fondo frente a la humedad se montó en la cámara un doble fondo de polietileno de $1,3\text{m}^2$ de superficie igual al analizado teóricamente. Se colocaron sensores de temperatura sobre este y sensores de temperatura y humedad para analizar el comportamiento de los parámetros y se registraron los datos de la misma forma que se tomaron en la cámara original.

2.5. Resultados

Como puede verse en el gráfico de la Fig. 3, la temperatura media del doble fondo (T_p) durante las mediciones fue de $7,8^\circ\text{C}$, para mantener una temperatura controlada de aire (T_a) de 10°C . La variación de temperatura entre el aire y el doble fondo resultó de $2,2^\circ\text{C}$, y si bien este es mayor al ΔT_2 calculado teóricamente esto puede deberse a que el coeficiente de convección es los dos casos no es igual tal como se supuso para el cálculo ya que la placa evaporadora tiene un forzador de aire y el doble fondo no lo tiene aún ya que de no ser necesario no se instalará.

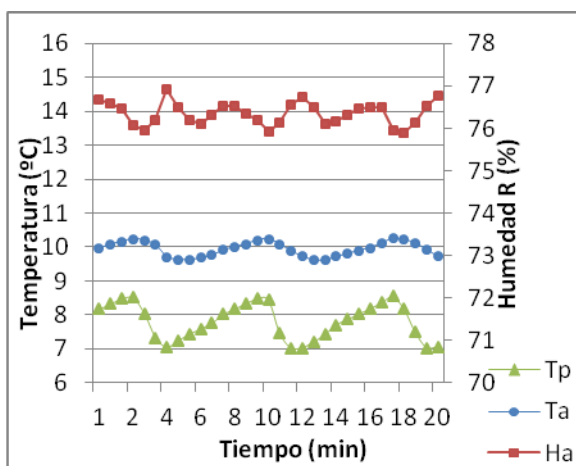


Figura 3: medición en cámara con doble fondo

Más allá de la temperatura media, lo que nos importa principalmente para evitar la condensación es que en ningún momento la temperatura del doble fondo sea

menor a la temperatura de punto de rocío. En el gráfico de la Fig.3 puede verse que la temperatura mínima del doble fondo es de $7,0^\circ\text{C}$ la cual está por encima del punto de rocío para las condiciones establecidas. También pueden verse en el gráfico las mediciones de la HR en el aire (H_a) cuyas oscilaciones son menores al 1%.

También puede observarse en el gráfico que, a diferencia de lo que ocurría en la cámara original, cuando la temperatura del aire disminuye, la HR aumenta, lo cual es esperable si no cambia la cantidad de agua que contiene el aire. Esta relación refuerza la idea de que no se estaría condensando agua en el doble fondo aunque puede verse también que cuando la temperatura de este doble fondo llega a valores próximos a 7°C y la temperatura del aire sigue disminuyendo, la humedad cambia su pendiente y también comienza a disminuir. Este fenómeno podría estar indicando que en algún otro sitio del doble fondo (no sentido) la temperatura es menor y se podría estar produciendo condensación.

3. CONCLUSIONES

La modificación propuesta en la cámara produjo, tal como se esperaba, una estabilización de la humedad relativa mientras está en funcionamiento el control de temperatura. La temperatura registrada del doble fondo está por encima de la temperatura del punto de rocío en todo momento y mientras que en las condiciones originales las fluctuaciones de humedad relativa se encontraban próximas al 10% con el doble fondo se mantienen por debajo del 1%. Si bien aún existen oscilaciones en la HR, con esta respuesta ya es posible el diseño de un sistema de control de humedad que sea capaz de mantener este parámetro con una precisión del 5%. Además de lo antedicho, esta estabilidad permite obtener lecturas del valor de HR media de forma rápida, sin la necesidad de promediar durante todo un ciclo y sin resignar demasiada precisión ya que las variaciones son pequeñas, y poder hacer esto da la posibilidad de que el sistema de control de humedad sea más rápido y tenga la posibilidad de responder de forma más eficiente ante las distintas perturbaciones que pueden aparecer durante el funcionamiento como la apertura de la cámara durante el funcionamiento, el riego en ensayos de germinación, el cambio de requerimientos de temperatura y humedad entre el día y la noche, etc. Una vez estabilizada la humedad y lograda la independencia de esta con el encendido de la placa evaporadora, el sistema de control de humedad implementado será más eficiente y se podrá lograr una mejor estabilización del parámetro controlado.

REFERENCIAS

- [1] Biasutti, C. A., and V. A. V. A. Galiñanes. "Influencia del ambiente de selección sobre la

XVI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control, 6 al 9 de octubre de 2015

- germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo." *Agriscientia* 18 (2001).
- [2] Garcerá, M. D., et al. "Desarrollo de un método de cría, en laboratorio, de *Spilostethus pandarus* con fines de experimentación fisiológica." (1988).
- [3] Latorre, B. A., and M. E. Rioja. "Efecto de la temperatura y de la humedad relativa sobre la germinación de conidias de *Botrytis cinerea*." *Cien. Inv. Agr.(Chile)* 29 (2002): 67-72.
- [4] Bruni, R., Atea, J., Taborda R.A.M. . "Cámaras de ambiente controlado". En línea [<http://www.liade.efn.uncor.edu/proyectos/camaras.htm>],