

CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES SHIITAKE

TEMPERATURE AND HUMIDITY CONTROL FOR EDIBLE MUSHROOMS' CROP SHIITAKE

Juan D. Rodríguez*

Néstor F. Sanabria**

Alfredo Chacón G.***

Fecha de envío: Marzo 2011
Fecha de recepción: Abril 2011
Fecha de aceptación: Agosto 2011

Resumen

La seguridad alimentaria requiere investigación y desarrollo para transferir y adoptar tecnología que haga eficiente el sistema productivo agrícola rural y urbano. En particular, se ha documentado que los hongos comestibles shiitake (HCS) son una fuente de aminoácidos, vitaminas, minerales, ácidos grasos insaturados, favorables al consumo humano por sus bajas concentraciones de colesterol; y actúan además como degradadores de materia orgánica en los ciclos biológicos, lo que preserva cualquier ecosistema. El presente documento describe la construcción de una sala para cultivo de HCS, controlada por medio de sensores de temperatura y humedad, de manera inalámbrica. El envío y recepción de datos desde los sensores se enrutan a un microcontrolador para que este, por vía USB, se conecte con el computador y se visualicen los datos en pantalla a través de una interface de usuario, programada en Java, desde donde se monitorean las condiciones de temperatura y humedad ideales para el proceso reproductivo.

Palabras clave

Hongos comestibles *shiitake* (HCS), sensores, temperatura, humedad, control inalámbrico.

Abstract

Food security research and development required to transfer and adopt technology that makes efficient agricultural production sys-

* Tecnólogo en Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: manutdjd@hotmail.com

** Tecnólogo en Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: yen.r.f@hotmail.com

***Ingeniero Electrónico. Universidad Distrital, Esp. en Instrumentación Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Msc. (c) en Ingeniería Electrónica de la Universidad Javeriana, integrante del grupo de investigación INTEGRA de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo: achacong@udistrital.edu.co

tem urban and rural. In particular, it has been documented that shiitake mushrooms (HCS), are a source of amino acids, vitamins, minerals, unsaturated fatty acids, favorable for human consumption by low concentrations of cholesterol and also act as decomposers of organic matter in biological cycles which preserves any ecosystem. This paper describes the construction of a culture of HCS room, controlled by temperature and humidity sensors wirelessly. Sending and receiving data from sensors are routed to a microcontroller to it, via USB, connects to the computer and displayed on-screen data through a user interface, programmed in JAVA, where are monitored conditions of temperature and humidity are ideal for the reproduction process.

Key Words

Shiitake mushrooms (HCS), sensors, temperature, humidity, wireless control

Introducción

El *shiitake* es un hongo comestible que posee una gran cantidad de beneficios para el hombre, como fuente de nutrientes, que hace que este hongo sea empleado en el campo medicinal, además de muchos otros, como en el campo de la degradación de materia orgánica. En la construcción y estudio de una sala de hongos *shiitake* se deben tener en cuenta varios factores a la hora de producción, entre los más importantes, temperatura, humedad e iluminación, para que estos hongos puedan crecer de forma satisfactoria. Para mantener estos factores, la producción se realiza dentro de un invernadero para jardín.

Los invernaderos para jardín varían en sus diseños y tamaños. Generalmente los invernaderos para jardín más populares se construyen en forma de pirámide, circular, octagonal, etc. La construcción de los invernaderos para jardín no difiere mucho

en la construcción de un invernadero comercial. Para construir un invernadero es importante considerar que un invernadero con una superficie de plástico es superior a uno con una superficie de vidrio, ya que el plástico es más resistente y sirve de refugio para las plantas en las temperaturas muy bajas. También es importante instalar un buen sistema de calefacción [1].

Debido a que la sala está construida dentro de una casa, se emplean materiales livianos, pero que, de igual manera, mantengan las condiciones necesarias para que el hongo se desarrolle satisfactoriamente. Instalados los sensores, estos sensarán nuestras variables, y sus datos medidos serán procesados por un microcontrolador para que este haga el respectivo control de los mecanismos que mantienen las condiciones dentro de la sala; además, el microcontrolador guarda datos de la temperatura y humedad, de tal forma que al hacer comunicación con un computador el operario pueda visualizar estos datos, viendo el comportamiento de las variables controladas en la sala, lo cual servirá para hacerle mejoras o cambios a la sala, de ser necesarios. La comunicación se hace por medio inalámbrico, que da ventajas de instalación al evitar el cableado, lo que hace que sea más agradable a la vista y brinda la posibilidad de que el computador esté en un cuarto diferente del de la sala de producción. Todo esto tiene como objetivo elaborar un sistema de sensado y control de temperatura y humedad para el cultivo de hongos *shiitake* y mejorar la producción en términos de calidad, costo y tiempo empleado, centrados especialmente en las pequeñas y medianas empresas.

Antecedentes

En Colombia, este trabajo tiene como antecedente el desarrollo realizado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

(UPTC), en Duitama, por iniciativa de los docentes de la asignatura microcontroladores de las Escuelas de Licenciatura en Educación Industrial e Ingeniería Electromecánica. Su objetivo era controlar de forma precisa la humedad, la temperatura, la iluminación, la ventilación y demás variables relevantes para los invernaderos, con la intención de lograr ambientes artificiales e ideales para el buen desarrollo de algunos cultivos, específicamente el cultivo de *shiitake*, seta muy exigente en cuanto a condiciones ambientales de cultivo. Este desarrollo tecnológico, a diferencia del *control de temperatura y humedad para cultivo de hongos comestibles shiitake (HCS)*, tiene como eje temático las telecomunicaciones y maneja el módulo de comunicación Transceiver TRF-2.4GHZ. Mientras que en este artículo el eje temático se centra en control e instrumentación [2].

Disño experimental

Para poder realizar el control de temperatura y de humedad, entendidas como medidas del contenido del calor y agua en la atmosfera, respectivamente, dentro de una sala de producción, primero se realizó la construcción de la sala dentro de un espacio delimitado y posteriormente se instalaron adecuadamente los sensores de temperatura y humedad, para poder medir estas variables y luego poder proceder al respectivo control. Los datos medidos llegan a un microcontrolador, programado para realizar la función de controlar un ventilador y una bomba de agua con que mantener las condiciones deseadas dentro de la sala, aunque también cumple la función de almacenamiento y envío de datos. Los datos enviados de forma inalámbrica son recibidos por otro microcontrolador para posteriormente enviarlos al computador vía USB, y allí este hace la respectiva visualización de los datos, entre otras funciones, por medio de una ventana creada con el aplicativo Java, con el fin

de que el operario tenga facilidad para realizar una producción de alta calidad.

Sala de producción

Para la construcción de la sala de producción se adecuó un espacio no tan abierto, de tal forma que pudiera contener más la humedad y los rayos del sol no incidieran tan directamente, y para evitar altas temperaturas y grandes cantidades de luz, lo cual detiene el crecimiento de los hongos.

La sala se construyó dentro de un área de 250 cm de largo por 225 cm de ancho y con una altura máxima de 240 cm, como se muestra en las Figuras 1 y 2.

Figura 1. Área superficial de la sala.

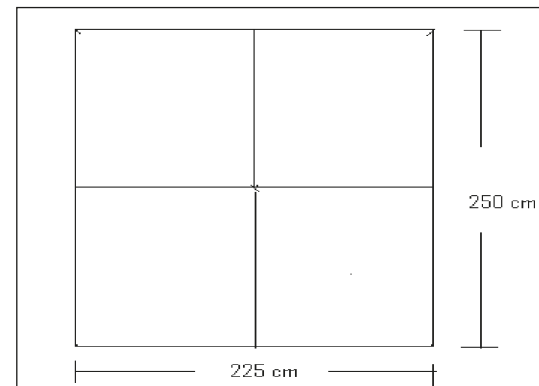
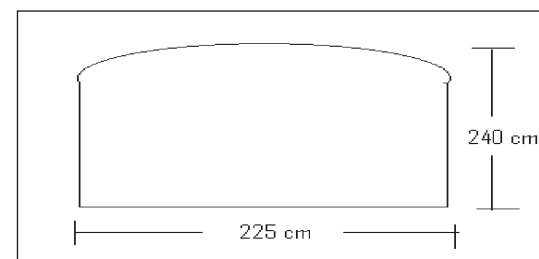


Figura 2. Área frontal de la sala.



En este proceso se utilizaron: tubos PVC, para darle la forma a la sala, es decir, la base de la sala; alambres tensores, que evitan que se mueva la sala o se descomponga ante fuertes movimientos; plástico de invernadero, para

su recubrimiento; tela Illinois, la cual cumple con la función de ayudar a la ventilación de la sala, entre otros. El modelo de la sala se muestra en las siguientes figuras:

Figura 3. Cara frontal de la sala.

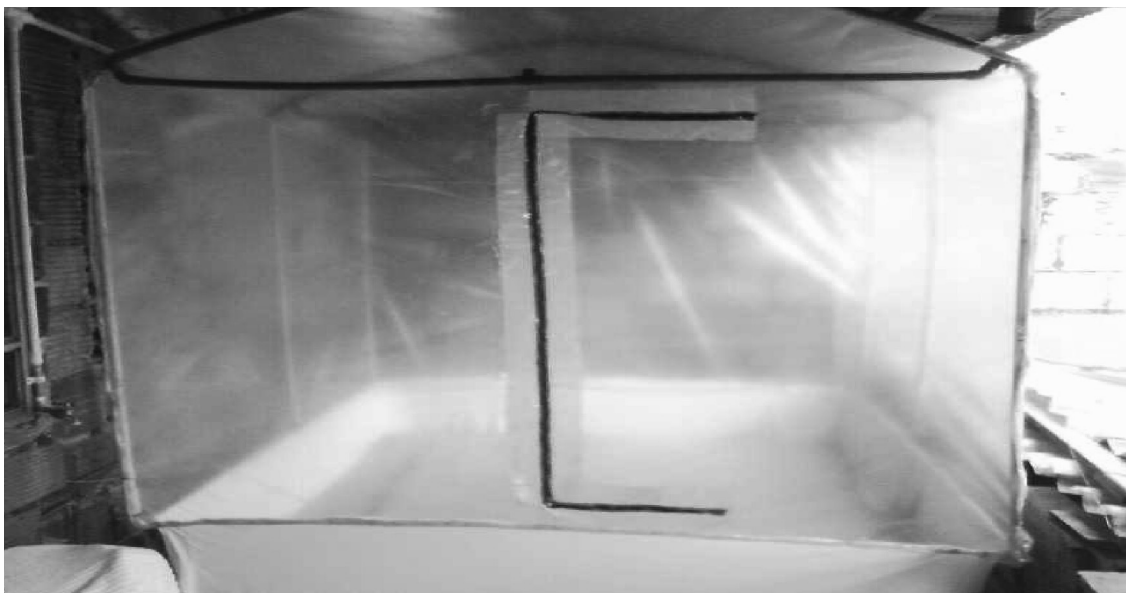


Figura 4. Cara lateral de la sala.

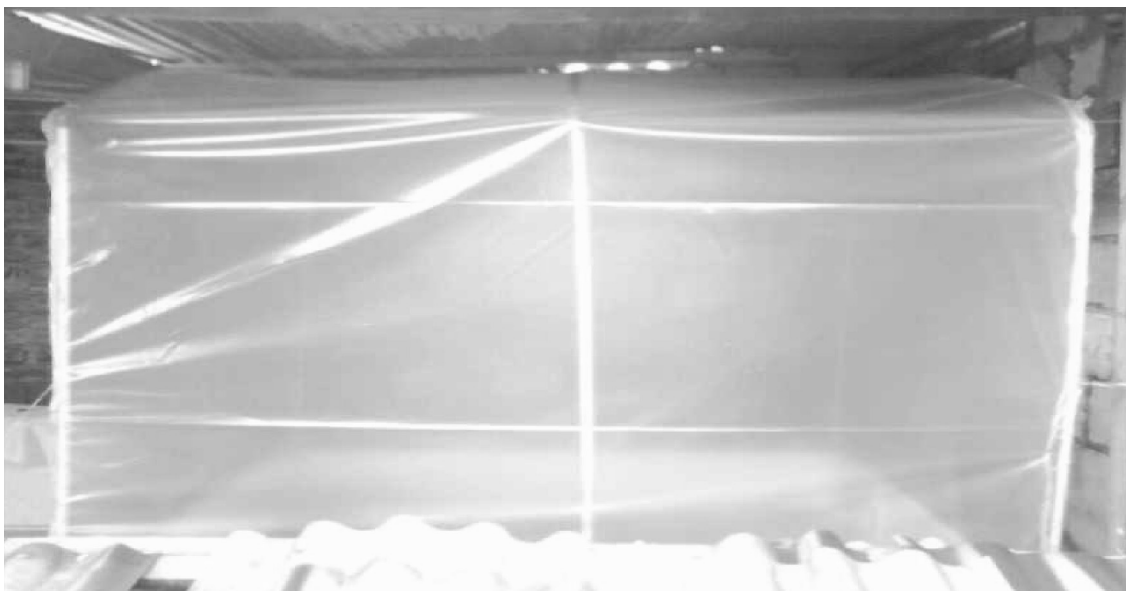


Figura 5. Vista diagonal de la sala.

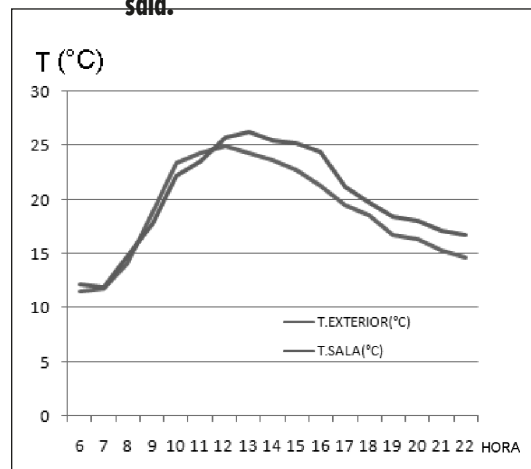


Estudio de variables

El proceso de estudio de la sala tuvo como finalidad ver las variaciones de temperatura que tiene la sala en determinadas horas del día y hacer una comparación con la temperatura exterior con el fin de determinar los lugares dentro de la sala donde mejor van a desempe-

ñar su función los sensores de temperatura y humedad. Para estas mediciones se utilizó un termómetro digital de alta precisión, con el cual se medía la temperatura cada hora, tanto dentro de la sala como fuera de esta, por un período de cinco días, así se obtuvo la curva característica de la temperatura externa y la temperatura de la sala (Figura 6). Los datos fueron tomados entre las 6 a.m. y 10 p.m. Se buscaba hallar los puntos más críticos dentro de la sala y así poder determinar la localización de los sensores en ella. Los datos omitidos, es decir, entre las 10 p.m. y las 6 a.m., están dentro del rango de ambiente que se necesita, por lo cual no fueron tenidos en cuenta y la investigación se centró en las horas del día donde se presentan los puntos críticos.

Figura 6. Temperatura externa vs. temperatura sala.



Además, en el estudio realizado se dividió la sala en cuatro zonas (Figura 7), donde se encontró que las zonas 2 y 3 presentaron mayor variación en la temperatura: la zona 3 presentaba las menores temperaturas, aunque no lejos de lo normal, y la zona 2 alcanzaba las máximas

Figura 7. Zonas de la sala.

Z1	Z2
Z3	Z4

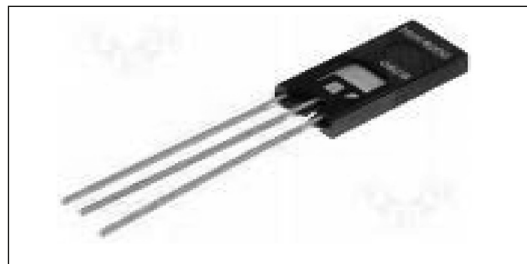
temperaturas, especialmente en las tardes, cuando el sol llega más directo y estas temperaturas son mucho más altas que las del resto de la sala. Las otras dos zonas son más estables.

Sensado

El sensado es la primera parte del sistema y consta de sensores de temperatura LM35 (Figura 8) y un sensor de humedad HIH-4000-002 (Figura 9), los cuales se encargan de dar el valor de estas respectivas variables, medición que estará dada por un voltaje diferente para cada sensor, el cual llegará a un convertidor análogo digital dentro de un microcontrolador para hacer los respectivos cálculos y obtener así el dato de temperatura y humedad. Utilizamos un convertidor A/D de 8 bits para la humedad y uno de 10 bits para la temperatura, en donde se observan los valores respectivos de cada sensor, y encontramos que está trabajando con mediciones del ambiente, pues no es necesario todo el rango de funcionamiento del sensor de temperatura –el cual mide hasta 150 °C–, por lo cual se trunca esa medida, ya que se sabe que la lectura del sensor no sobrepasará los 40°C, su valor correspondiente al convertidor A/D es de 82 y nuestra lectura del A/D del sensor de humedad sobrepasa el valor de 100. De esta manera se pueden manipular con mayor facilidad los datos y se hace más fácil su recepción.

Figura 8. Sensor de temperatura lm35.

Fuente: Sigma Electrónica (2007).

Figura 9. Sensor de humedad hih-4000-002.

Fuente: sigma electrónica (2009).

Control

En la etapa de control los valores medidos por los sensores llegan a un microcontrolador, el cual se encarga de interpretar los datos para saber si se encuentra la humedad o la temperatura dentro del rango establecido. El microcontrolador, por tanto, envía pulsos de activación o desactivación a la etapa de potencia para controlar el encendido y apagado de la bomba de agua y el ventilador, encargados de mantener la temperatura y la humedad dentro de la sala. El microcontrolador también cuenta con la función de almacenar estos datos de temperatura y humedad dentro de su memoria y los toma cada hora, de tal manera que también posee un reloj digital que se comunica por I2C para poder leer el

tiempo. Los datos almacenados pueden ser leídos al momento de comunicarse con un computador, el cual recibe los datos por vía inalámbrica.

Transmisión

El modo de transmisión de datos se realiza por medio de módulos RF (Figura 10), los cuales hacen la comunicación de manera inalámbrica. Estos módulos RF son tanto emisores como receptores (*transceiver*) y cuentan con codificador y decodificador integrado. La interfaz con el módulo se hace mediante UART a 3.3V. Lo que se hace es programar tanto el emisor como el receptor del microcontrolador, para que usen el sistema RS232 de comunicación; y se conectan a los módulos inalámbricos los pines de TX y RX del PIC por los pines 2 y 3 del módulo.

Recepción

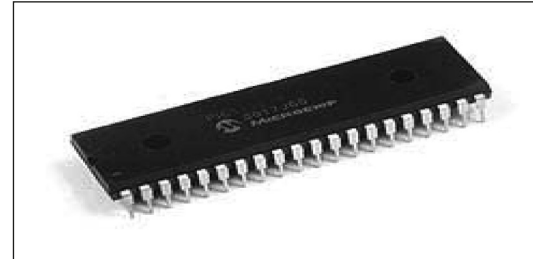
La recepción de datos se hace conectando el módulo RF a un microcontrolador, de la misma manera que el microcontrolador trasmisor; luego se programa para una comunicación RS232 y el módulo recibe los datos,

Figura 10. Módulos inalámbricos.



Fuente: Sigma Electrónica (2007).

Figura 11. Pic18f4550.



Fuente: Sigma Electrónica (2008).

los decodifica y los envía al microcontrolador para que este procese los datos recibidos.

Para el presente caso, el microcontrolador usado es el 18f4550 (Figura 11), el cual es de gama alta y además posee pines para la comunicación USB, utilizada para hacer la visualización de datos.

Visualización

Los datos recibidos por el microcontrolador receptor se visualizan en un computador. Para ello se conecta el microcontrolador al computador por vía USB, por lo cual este microcontrolador maneja dos tipos de comunicación; RS232 para recepción de datos y USB para la comunicación con el computador. La visualización se hace por medio de una ventana creada en el aplicativo Java, aplicativo que a través de una programación va a ayudar a comunicar el computador y el microcontrolador, pero a su vez va a mostrar los datos en la ventana que nosotros podemos crear y diseñar (Figura 12).

La ventana cuenta con distintas funciones que permiten ayudar al usuario a tener control de las condiciones en las que se encuentra operando la sala de producción, entre ellas está la parte de visualización donde se observan las condiciones de temperatura y humedad en la

Figura 12. Ventana aplicativo Java.



que se encuentra el cultivo (Figura 13). Otra función es la de controlar tanto el sistema de riego como el de ventilación; esta función se encuentra en la parte “Opciones” y, dentro de esta, en la parte “Activación”; aquí se encuentran tres botones: el botón manual permite desactivar el modo automático y operar cada sistema, ya sea el de riego o el de ventilación, sin ningún problema, con los respectivos botones que ahí se despliegan (Figura 14) y su respectiva visualización animada, que se encuentra en la parte de “Acciones Activadas” (Figura 15). Dentro de estas opciones se encuentra la de “Cultivo”, en la cual se puede visualizar al sistema, cuando se desee comenzar un nuevo cultivo o retirar uno en proceso; esto se debe a que el sistema también está programado para avisar cuándo es posible empezar a cosechar, basándose en una fecha de inicio, a partir de la y al cabo de cinco días la ventana muestra un mensaje indicando que ya se puede realizar la cosecha pues ha terminado su etapa de fructificación (Figura 16).

Figura 13. Ventana aplicativo Java (visualización)



Figura 14. Ventana del aplicativo Java (opciones)

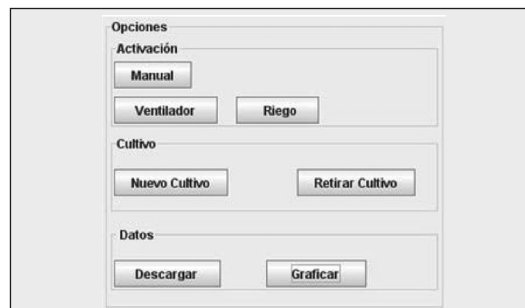
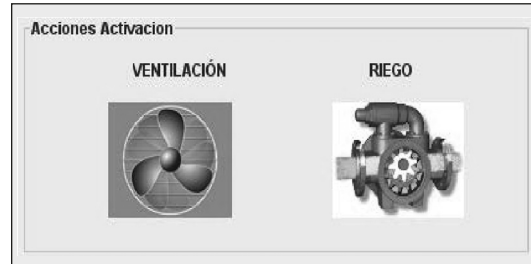
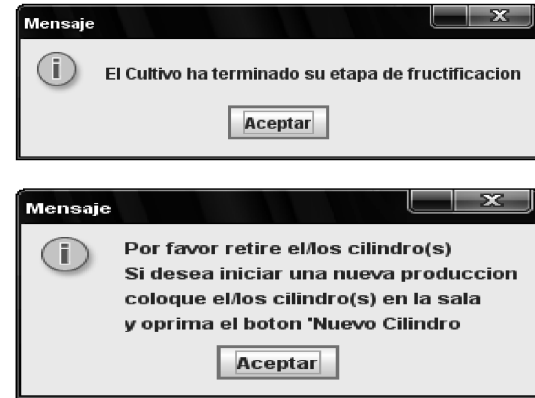


Figura 15. Ventana del aplicativo Java (acciones activadas).



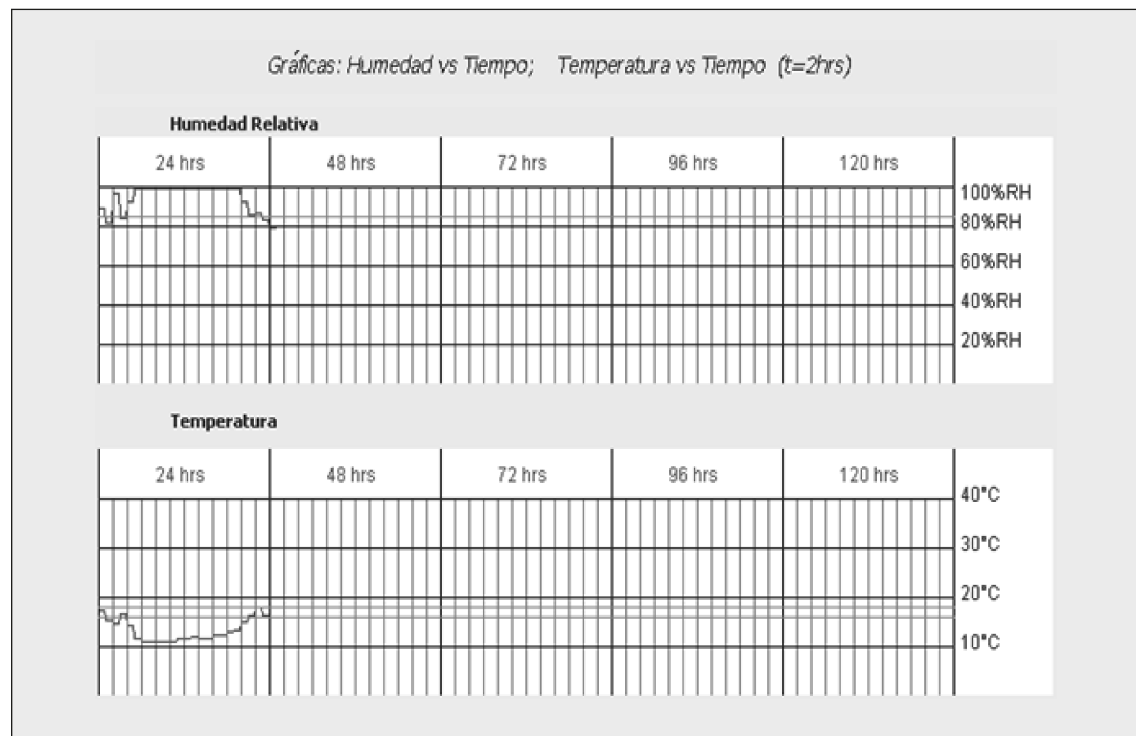
La ventana también cuenta con la posibilidad de mostrar los datos almacenados por el microcontrolador, los cuales, al ser recibidos, llegan al computador y se almacenan en un archivo llamado “Datos”, que el aplicativo JAVA grafica y muestra en la ventana donde aparecen los datos de temperatura y humedad, en diferentes intervalos de tiempo. De esta manera el operario puede llevar un registro

Figura 16. Ventana del aplicativo Java (mensajes).



del temperatura y humedad que se presenta en la sala, y puede realizar posteriormente, basándose en estos, las mejoras que crea necesarias para producción.

Figura 17. Humedad vs. tiempo; temperatura vs. tiempo (t = 2 h).



Envío de órdenes

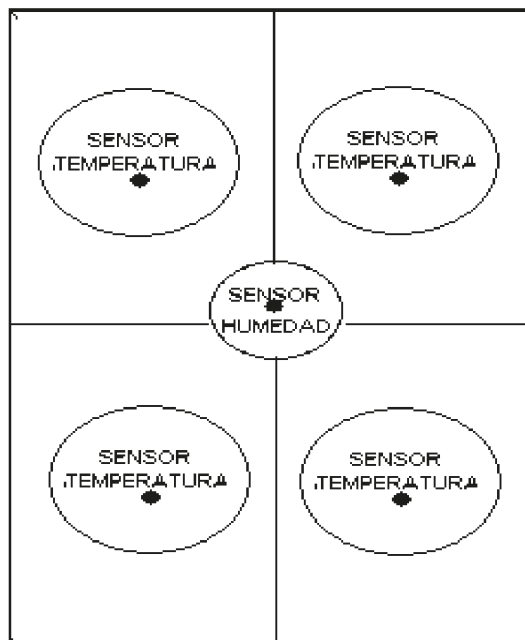
Una vez recibidos los datos de temperatura y humedad en el computador, este los lee y los procesa, mediante el aplicativo Java, para realizar el control de temperatura y humedad. Para esto se necesita enviar las órdenes correspondientes desde el computador al microcontrolador receptor y de este al microcontrolador transmisor, lo cual hace que estos microcontroladores sean tanto emisor como receptor (*transceivers*).

En el envío de órdenes se usa el mismo método de transmisión y recepción anterior, pero con variaciones en la lógica del programa utilizado en el microcontrolador, es decir, mediante la función `putc()` utilizada en el aplicativo PIC C. Para la comunicación RS2323 se envían los datos numéricos, que representarán una función a realizar al momento de ser leídos por el otro microcontrolador: como prender y apagar el sistema de ventilación y/o riego. Para enviar las órdenes de activar o desactivar cada sistema se utilizan dos botones ubicados en “Opciones” del aplicativo Java (Figura 14).

Resultados

- En horas de la tarde se encontró que los rayos de sol llegaban directamente a la sala, por lo cual se procedió a colocarle una tela Fresca hecha de fibra de vidrio que impide el paso excesivo de los rayos de sol y contribuye a la disminución de la temperatura en horas donde esta es alta, además de darle una iluminación más adecuada al cultivo de *shiitake*.
- Debido a la variación de temperatura en cuatro zonas distintas de la sala, se colocaron sensores de temperatura en cada una de ellas y un sensor de humedad (Figura 18).

Figura 18. Ubicación de sensores.



- Al probar los sensores individualmente, presentaron un funcionamiento ideal; sin embargo, al implementarlos en conjunto, presentaron una caída de tensión, por lo cual se realizaron nuevamente los cálculos, teniendo en cuenta las resistencias y condensadores, para evitar una lectura errónea.
- En la comunicación inalámbrica es importante utilizar estos tipos de módulos, *transceivers*, puesto que evitan la entrada de ruido, y entre sus características está su gran alcance, alrededor de 30 metros en interiores, y servir como codificador y decodificador. Esta comunicación es similar a la comunicación RS232.
- El circuito implementado para el bloque de transmisión del sistema es prácticamente sencillo; en especial gracias a los módulos, que no requieren circuito de codificación ni decodificación; sin embargo, hay que tener en cuenta la polarización de cada sensor.

- Para el conversor análogo-digital se utiliza una conversión de 10 bits; los datos de humedad se dividen sobre cuatro para convertirlos en datos de 8 bits, puesto que entre el sensor de temperatura y humedad existe una diferencia de 20 A/D. El sensor de temperatura oscila entre 0 y 80 A/D, mientras que el sensor de humedad alcanza valores mayores a 100 A/D; gracias a esto, el microcontrolador puede diferenciar de cuál de los dos sensores proviene el dato recibido.
- Se logró implementar correctamente el aplicativo en Java, que facilita la interacción con el usuario.
- Se sincronizaron las órdenes enviadas para prender o apagar los sistemas de ventilación y/o riego en la forma de programación de los PIC.

Conclusiones

La investigación, pese a estar centrada en la producción del hongo *shiitake*, también es de fácil adaptación a otro tipos de cultivo que se realicen en invernaderos. Estos resultados son una muestra de lo que puede ocurrir con la temperatura dentro de una sala, pero no son generales, ya que estos pueden variar según el clima de la región donde se vaya a realizar, la ubicación dentro de un espacio determinado y la forma de construcción. Por ende, se recomienda que su construcción sea en un espacio cerrado para facilitar la retención de humedad. Los módulos RF, el aplicativo Java

y la comunicación USB son herramientas que están vigentes actualmente, por lo cual el proyecto se hace más aplicable, ya que integran diferentes características en sí mismas.

Referencias

- [1] Jardín & Plantas. *Diseños de Invernaderos para jardín*. 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.jardinyplantas.com/invernaderos/invernaderos-para-jardin.html>
- [2] *Sistema de control de humedad y temperatura para invernaderos*. 2011. [En línea]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/microcontrol_congr/comunicaciones/Sistema_control_humedad.pdf
- [3] Sigma Electrónica. *Microcontroladores*. 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.sigmaelectronica.net/pic18f4550ip-p-866.html>
- [4] Sigma Electrónica. *Sensor de temperatura*. 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.sigmaelectronica.net/1m-35dz-p-142.html>
- [5] Sigma Electrónica. *Sensor de humedad*. 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.sigmaelectronica.net/hih4000002-p-1227.html>
- [6] Sigma Electrónica (2007). *Módulos RF transmisor y receptor*. 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.sigmaelectronica.net/xb24awi001-p-672.html>