

# Diseño de un Sistema para el Control de la Humedad Relativa y la Temperatura, de Acuerdo a los Índices de Confort en Incubación y Fructificación en una Unidad Productiva de Orellanas (*Pleurotus Ostreatus* Jacq. Kumm)

Design of a System for the Control of the Relative Humidity and the Temperature According to the Comfort Levels in a Productive Unit of Orellanas (*Pleurotus Ostreatus* Jacq. Kumm)

Javier Leonardo Rodríguez Cabra\*  
Diego Mauricio Cano Reinoso\*\*  
Edgar Gerardo Gutiérrez Orduz\*\*\*

## RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue el de diseñar un sistema para mantener la humedad relativa y la temperatura, dentro de los índices de confort, en una unidad productiva de Orellanas, de la empresa Orellanas Con Sentido Social; esto, con la ayuda del grupo de investigación SIPAF, de la Universidad Nacional de Colombia. Según la teoría, los valores de %HR y temperatura en un invernadero de fructificación de Orellanas, deberían estar entre 85 y 95% y entre 15 y 20°C, respectivamente. De igual manera, para un cuarto de incubación, estos valores deberían ser de 60 a 75% y de 20 a 25°C, en promedio. En la empresa se presentaban valores por debajo de lo recomendado, con un tiempo de producción demasiado tardío para este cultivo. Por tal motivo, era necesario un análisis y una intervención en la situación.

**Palabras Claves:** Orellana, Nebulización, Refrigeración, Ventilación, Invernadero, Fructificación, Incubación.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to design a system to maintain relative humidity and temperature within comfort indexes in a Orellanas production facility of the company Orellanas con sentido social, with the support of Universidad Nacional de Colombia's SIPAF research team. According to literature, an orellana raising facility must have a relative humidity between 85% to 95% and a temperature between 15°C to 20 °C. Similarly, in an incubation room these values must be between 60 to 75% and 20 to 25 °C in average, respectively. At the company where the research was conducted, these values were under the standard with a slow production time for this crop. For this reason, it was necessary to carry out an analysis and an intervention to improve the current state.

**Key Words:** Orellana, Nebulization, Refrigeration, Ventilation, Greenhouse, Fructification, Incubation.

\* *Ingeniero Agrónomo. Consultor especializado en hongos comestibles Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Investigador Grupo de investigación SIPAF. Correo electrónico: jlrodriguez@unal.edu.co*

\*\* *Ingeniero Agrícola. Investigador Grupo de investigación SIPAF. Correo electrónico: dmcanor@unal.edu.co*

\*\*\* *Estudiante de ingeniería Agrícola. Estudiante Grupo de investigación SIPAF. Correo electrónico: eggutierrez@unal.edu.co*

*Fecha de recepción: 02 de Octubre del 2014 • Fecha de aceptación: 05 de Noviembre del 2014*

## 1. INTRODUCCIÓN

La Orellana es una seta comestible que se desarrolla principalmente sobre residuos vegetales, con un alto contenido de celulosa. Sus etapas productivas son básicamente cuatro: preparación del sustrato, inoculación, incubación y fructificación. La incubación y fructificación son aquellas sobre las cuales se hará énfasis en este artículo.

Durante el proceso de producción de las Orellanas existen diversos factores que pueden incidir en el crecimiento correcto de las setas, tales como la temperatura y la humedad relativa. Actualmente, en las producciones del cultivo es importante tener el control climático adecuado en las fases de incubación y fructificación, en donde se culmina con el desarrollo del cuerpo fructífero y surge el sombrerillo.

Según el manual del cultivador de hongos [1], los valores para la temperatura y humedad relativa en el invernadero de fructificación, deben estar entre 85 y 95% y 15 a 20°C. De igual manera, para el cuarto de incubación estos valores deben ser de 60 a 75% y entre 20 y 25°C, respectivamente. Ahora bien, para lograr esto, cualquier unidad productiva debe contar con una tecnología adecuada, según su tipo de control climático.

Generalmente, las fases de incubación y fructificación dentro del cultivo son las más críticas, ya que pueden retrasar la cadena productiva del hongo desde hasta 10 meses en promedio, por lo cual se debe tener un especial cuidado en dichas fases.

En Colombia, el cultivo de Orellanas presenta cierto atraso, ya que en la mayoría de los casos, el control climático se lleva a cabo de forma muy rudimentaria, con lugares poco acondicionados para las fases anteriormente mencionadas. Esto también se debe a la poca información que se puede encontrar como guía, en torno al manejo de clima dentro de dichas estructuras, ya que en la mayoría de los casos solo se encuentran manuales que establecen datos puntuales y no permiten tener bases para resolver cualquier problema relacionado con la temperatura y la humedad relativas.

En este artículo quiere mostrar lo que puede ser un control climático adecuado en una unidad productiva, partiendo del hecho de que se cuenta con elementos adecuados para tal fin, pero que no están siendo empleados de la mejor forma. Se busca dejar una base y prestar a futuro una ayuda a cualquier pequeño productor de Orellanas que posea un problema similar a este caso, y encontrar así una forma de resolverlo eficazmente de acuerdo con su situación.

## 2. METODOLOGÍA

En un principio, se llevó a cabo una caracterización completa del cuarto de incubación y el invernadero de fructificación, en cuanto a dimensiones y distribución, así como de los equipos empleados para el control climático; también se midieron las condiciones de operación de cada uno de estos. Habiendo determinado las condiciones de operación de cada uno de los equipos, se prosiguió a establecer la eficiencia con la que estaban accionando el sistema de nebulización y los equipos de ventilación en el invernadero y el cuarto. Para el sistema de nebulización

se tomaron los caudales de funcionamiento de los nebulizadores y se determinó la presión de operación con la que estos estaban funcionando, mientras que en los equipos de ventilación se tomaron sus caudales de funcionamiento.

El siguiente paso fue medir la humedad relativa y la temperatura, tanto en el cuarto de incubación como en el invernadero de fructificación. Se identificaron puntos críticos y se analizaron todos los datos que estuvieran por fuera o alteraran los índices de confort y en qué momentos del día y bajo qué condiciones climáticas se presentaban estos. Esto se llevó a cabo por medio de un diseño estadístico en el cual se tomaron datos de %HR y temperatura durante 7 días y para cada uno de los lugares.

Al conocer los datos climáticos internos de cada instalación, se llevó a cabo el cálculo de pérdida de energía en cada lugar, para así establecer si era necesario o no hacer una calefacción durante el transcurso del día y bajo qué condiciones. Al obtener estos valores, se determinaron las causas de los problemas climáticos en la unidad y se estableció la mejor solución para la situación y el diseño a realizar.

Finalmente, se prosiguió de acuerdo con los arreglos y modificaciones que se debían efectuar, tanto en incubación como en fructificación. Se buscaron los materiales y equipos necesarios para esto y se trabajó en un diseño, con su respectivo protocolo, para el manejo y funcionamiento dentro de las instalaciones; todo esto, basado en los equipos que se emplearán para el control climático.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La experiencia se llevó a cabo en la unidad productiva de la empresa *Orellanas con sentido social*, en las fases de fructificación e incubación del cultivo. La primera de estas contaba con un invernadero de 3,9 x 11 m<sup>2</sup> por 3,2 m de alto, al cual se le colocó un aislante térmico durante la experiencia. Por esta razón, fue necesario no solo obtener los datos sin aislante, sino también con este, y determinar la diferencia en cuanto al control climático entre estos dos, con respecto a los valores óptimos. El invernadero también contaba con un extractor ubicado en la parte inferior de la estructura y un ventilador en su parte superior, además de un sistema de nebulización a 2,8 m desde el piso. Las Orellanas, dentro del invernadero, estaban organizadas en cuelgues. La segunda fase se trató de un cuarto de incubación, con un extractor en su parte inferior, cuyas medidas eran 3,8 x 5,7 m<sup>2</sup> por 2,5 m de alto, y en el cual el cultivo se tuvo en estantes.



**Figura 1. Organización de las Orellanas en la fase de fructificación e incubación.**

Fuente: Elaboración de los autores.

### 3.1. Cálculo de la eficiencia del sistema de nebulización en el invernadero de fructificación

Se aforaron los nebulizadores necesarios para calcular la presión de operación. Para esto, se tomaron los dos nebulizadores considerados como los más críticos en términos de funcionamiento en todo el sistema; esto, por las pérdidas de energía que generan debido a la longitud de la tubería, desde el punto inicial del sistema.

**Tabla 1. Datos del punto inicial del sistema de nebulización.**

Punto de inicio del sistema	
29,9	Tiempo (s)
8804	Peso (g)
293,56	Flujo másico (g/s)
0,294	Caudal(L/s)

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 2. Datos obtenidos al aforar el primer nebulizador crítico.**

Primer nebulizador crítico	
59,83	Tiempo (s)
286	Peso (g)
4,78	Flujo másico (g/s)
0,005	Caudal(L/s)

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 3. Datos obtenidos al aforar el segundo nebulizador crítico.**

Segundo nebulizador crítico	
60	Tiempo (s)
282	Peso (g)
4,7	Flujo másico (g/s)
0,005	Caudal(L/s)

Fuente: Elaboración de los autores

Después de obtener los datos necesarios, se prosiguió a determinar las pérdidas de energía que se dieron en el sistema para, finalmente, compararlas con la presión de operación recomendada para cada nebulizador. Para lo anterior, se empleó la ecuación de energía, que surge como una variante de la expresión propuesta por *Bernoulli*. Se tuvo en cuenta una velocidad promedio del agua a través de la sección de la tubería de 1,91 m/s, y una posición para el cálculo de la energía tomada a los 2,1 m desde la referencia inicial.

Para el caso de las pérdidas por accesorios, esta se tomó como nula, puesto que la curva característica de la válvula solenoide, instalada en el punto inicial del sistema, para las condiciones de funcionamiento que se tenían, en términos del caudal, no arrojó pérdidas significativas. El cálculo de las pérdidas por longitud se hizo usando la ecuación de *Hazen-Williams*, teniendo un caudal de operación del sistema de 0,005 L/s, una longitud del tramo de tubería analizado de 13,73 m y un diámetro interno de la sección de la tubería, con un valor de 0,014m.

Al final se obtuvo un valor de presión de 0,955 bar, siendo este inferior a la presión de operación para un nebulizador de 7 L/h, la cual es de 4 bar. Con esto, se determinó que existía un problema con la presión de operación, causa del mal control climático en el invernadero.

### 3.2. Cálculo de la eficiencia óptima de refrigeración en el invernadero, basado en el funcionamiento de la nebulización

De acuerdo con el número de nebulizadores que se tenían, y con las condiciones climáticas dentro y fuera del invernadero; se quiso saber si al corregir los problemas que se venían presentado, se podría llevar los valores de %HR y temperatura a los índices de confort deseados.

Con base en el caudal que manejaban los nebulizadores, 7 L/h, se estimó la cantidad de agua que se incorporaba al invernadero, en el momento que se accionaba el sistema. Teniendo en cuenta: un caudal de 1 boquilla por nebulizador de 7 L/h, 4 boquillas por nebulizador, teniendo 10 dispositivos en el invernadero, entonces, 7 L/h-boquilla x 40 boquillas = 280 L/h. Basados en recomendaciones del ingeniero de planta, se tomó una eficiencia de saturación del 75%. Con esto, se obtuvo la temperatura interna, es decir, a la salida de las boquillas, con base en la siguiente expresión:

$$n = \left( \frac{T_e - T_i}{T_e - T_s} \right) * 100$$

Donde  $n$  (eficiencia de saturación);  $T_e$  (temperatura exterior (°C));  $T_i$  (temperatura interior (°C)) y  $T_s$  (temperatura en el punto de saturación (°C)). Para esto, se tomó como punto crítico una temperatura de 22,7°C y una humedad relativa del 45% (Datos tomados de la estación meteorológica: 802220 (SKBO) Latitud: 4.7 | Longitud: -74.13 | Altitud: 2547, para el año 2013, mes de febrero).

Con esto, se tuvo una  $T_s = 14$  (°C),  $H_e = 0,011$  kg de vapor/ kg de aire seco,  $T_i = 16,17$  (°C),  $V_{esp\ ext} = 1,14$  m³/kg. Siendo,  $H_e$  (razón de humedad externa (Kg de vapor / Kg de aire seco),  $V_{esp\ ext}$  (Volumen específico externo (m³/kg)). Teniendo el valor de  $T_i$ , se calculó la %HR y la razón de humedad interna (Kg de vapor/Kg de aire seco), arrojando estas valores de 87% y 0,013, respectivamente. Finalmente, con estos datos se determinó la cantidad de agua que se incorporó bajo dichas condiciones dentro del invernadero, a partir de la expresión:

$$cai = \left( \frac{Q_{agua}}{V_{esp\ ext}} \right) * (Hi - He)$$

Donde (caudal de agua incorporado por los nebulizadores (m<sup>3</sup>/h)); (volumen específico externo (m<sup>3</sup>/kg)), siendo la razón de humedad interna y externa, respectivamente. Con estos resultados, se obtuvo al final un valor de 0,491 g vapor/h. Es decir, que si se aplica la nebulización bajo condiciones óptimas, se podría llegar a una humedad relativa del 87% y a una temperatura interior de 16,17°C dentro del invernadero, estando ésta dentro de los valores de confort para el cultivo.

### 3.3. Análisis de los equipos de ventilación en la unidad productiva

Se realizó un análisis basado en la toma del caudal de operación acerca de que los equipos de ventilación estaban entregando; al tener este, se comparó con el valor máximo que pueden manejar y se miró en qué porcentaje los equipos entregaban mayor o menor caudal, con respecto a dicho máximo.

El invernadero de fructificación contaba con un ventilador y un extractor ubicados en posiciones opuestas; el primero, en la parte superior de la estructura, y el segundo, en la parte inferior, así como una abertura para la entrada y salida de aire de 2,6 m en la parte superior opuesta al ventilador. En el cuarto de incubación se tenía un extractor en la parte inferior.

**Tabla 4. Valores obtenidos para el extractor del invernadero de fructificación.**

Área	0,07m <sup>2</sup>
Caudal teórico	0,58 m <sup>3</sup> /s
Caudal medido	0,16 m <sup>3</sup> /s
% de caudal manejado respecto al teórico	27,76%

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 5. Valores obtenidos para el ventilador del invernadero de fructificación**

Área	0,10 m <sup>2</sup>
Caudal teórico	0,75 m <sup>3</sup> /s
Caudal medido	0,71 m <sup>3</sup> /s
% de caudal manejado respecto al teórico	95,33%

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 6. Valores obtenidos para el extractor del cuarto de incubación.**

Área	0,07 m <sup>2</sup>
Caudal teórico	0,58 m <sup>3</sup> /s
Caudal medido	0,46 m <sup>3</sup> /s
% de caudal manejado respecto al teórico	79,31 %

Fuente: Elaboración de los autores.

Respecto al tiempo de operación, los equipos del invernadero funcionaban durante 8 minutos cada hora, de 9 a 4 de la tarde todos los días. Por otro lado, el extractor en incubación se accionaba por 15 minutos cada dos días. Además de las variables anteriores, también se observó si existía algún problema fitosanitario dentro de alguna de las estructuras para su posterior análisis.

### 3.4. Tratamiento estadístico hecho a los datos climáticos

**3.4.1. Metodología y manejo de los datos recolectados.** Los datos fueron recolectados para las variables de interés (temperatura y humedad relativa) y se registraron como observaciones por minuto en cada uno de los procesos de incubación y fructificación. Para estos procesos se tienen comienzos de mediciones distintos: para incubación, se tomaron mediciones cada minuto a partir de la fecha 04/10/14, 10:22 (horario 24 horas) durante 7 días exactos, y para fructificación con aislante y sin aislante se tomaron a partir del 04/01/14, 16:17 (horarios 24 horas) también en 7 días. El método estadístico aplicado se basó en un análisis descriptivo de curvas y en uno de datos funcionales.

El procedimiento continuó, hasta tomar los datos de la semana completa, por lo que en total, para las variables temperatura y humedad, se obtuvieron 7 curvas, respectivamente. Las curvas fueron obtenidas a partir de regresiones no paramétricas (ajuste de splines), Silverman & Ramsay [2]. Una vez se dividieron los datos de la forma descrita, se realizó un análisis descriptivo para contrastar la variabilidad de la temperatura y la humedad con los valores óptimos para la misma, según los requerimientos climáticos.

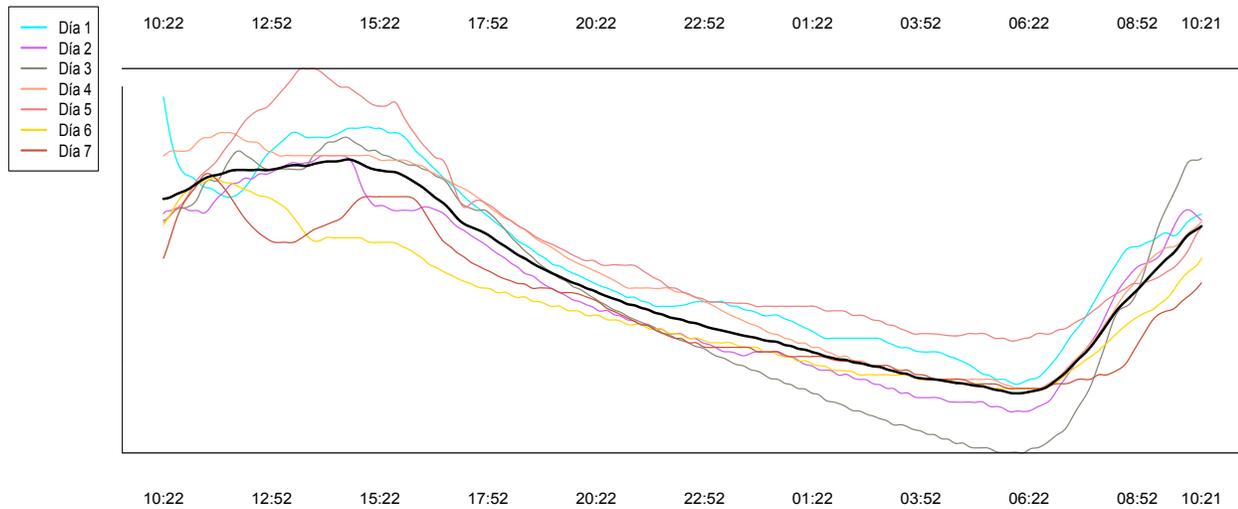
Al final se llevó a cabo una prueba de hipótesis de la siguiente forma:

$$H_0: \mu_1(t) = \mu_2(t) \quad \text{vs.} \quad H_1: \mu_1(t) \neq \mu_2(t).$$

La prueba fue propuesta por Aristizabal [3]. Todos los procesos estadísticos fueron realizados en el software *R-project*, versión 3.0.3.

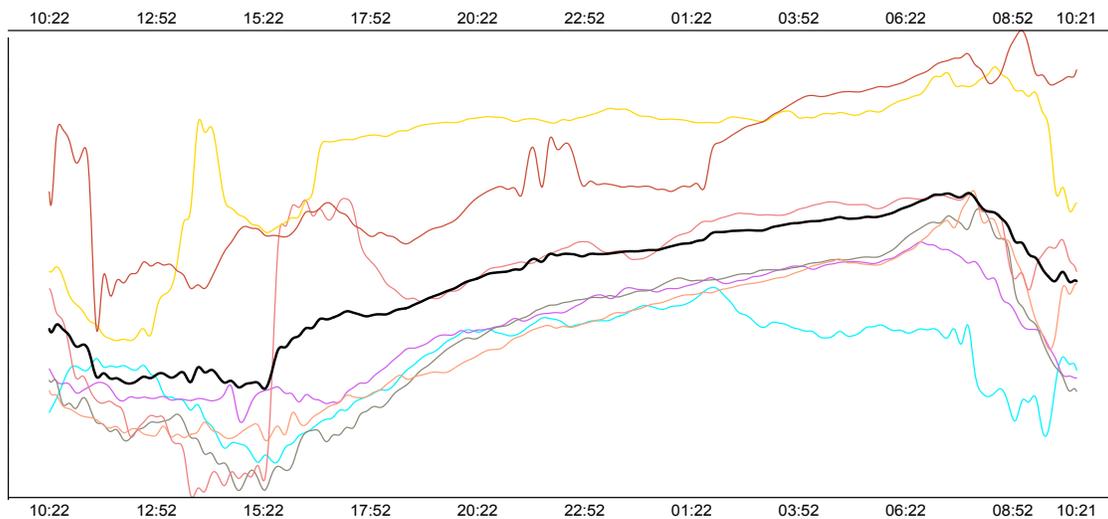
### 3.4.2. Resultados estadísticos de la temperatura y la humedad relativa

**Gráfica 1. Curvas obtenidas de temperatura por cada día de la semana en incubación.**



Fuente: Elaborada por los autores con el software software R-project, versión 3.0.3

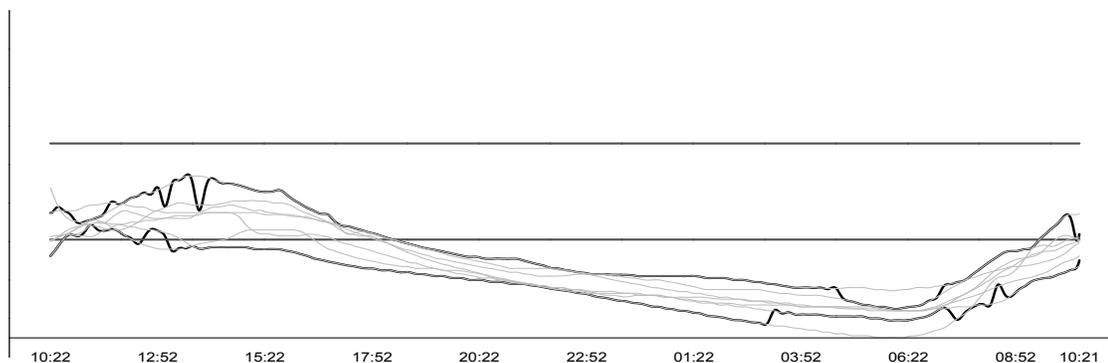
**Gráfica 2. Curvas obtenidas de humedad relativa por cada día de la semana en incubación.**



Fuente: Elaborada por los autores con el software software R-project, versión 3.0.3

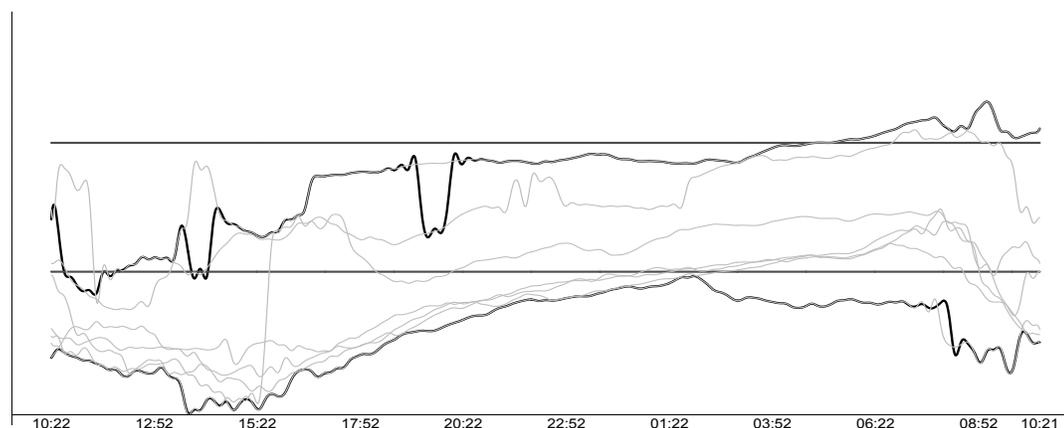
Las gráficas anteriores muestran el comportamiento de las variables de temperatura y humedad relativa en los 7 días de medición registrados. Al observar el comportamiento de las curvas de temperatura, se notó que existía una tendencia marcada para todas, es decir, que no hay ninguna curva que pueda mostrar un comportamiento anormal con respecto a las otras. Por otro lado, las curvas de humedad relativa si evidenciaron un comportamiento anormal durante varios momentos del día.

### Gráfica 3. Curvas de temperatura respecto a los valores óptimos en incubación



Fuente: Elaborada por los autores con el software software R-project, versión 3.0.3

### Gráfica 4. Curvas de humedad relativa respecto a los valores óptimos en incubación.



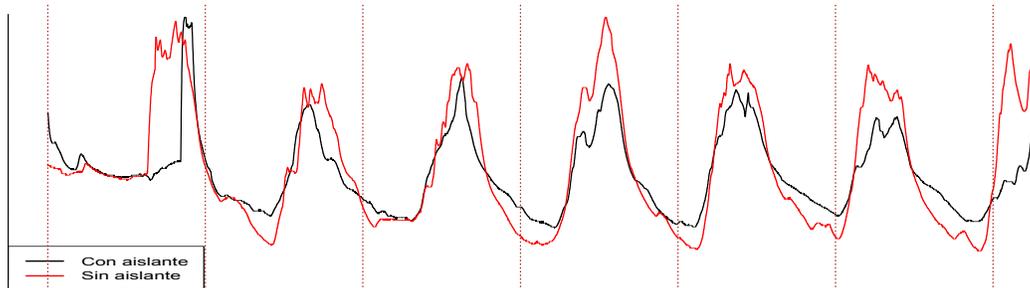
Fuente: Elaborada por los autores con el software software R-project, versión 3.0.3

En estas imágenes se mostró el resultado de contraste de los valores de la temperatura y humedad relativa, en incubación con los índices de confort. En primera instancia, la gráfica mostró que las bandas lograron capturar casi todas las curvas, salvo las del día 3 y 5 entre las 4:00 y las 6:20, aproximadamente. Existió una evidencia clara de que la temperatura tomó valores menores a lo esperado, casi las 24 horas del día. Para la humedad relativa, se observó que entre los días 4 y 7 ésta estuvo dentro de los valores óptimos, además de dejar en evidencia que en incubación dichos valores eran más factibles de controlar. Siguiendo la metodología, se interpretaron de igual forma los resultados sobre el proceso de fructificación, tanto sin aislante como con aislante.

Los resultados dieron cuenta de que la temperatura y la humedad relativa en el proceso de fructificación con aislante, tendieron a tomar valores que estaban más cercanos a los óptimos que el mismo proceso, pero sin aislante. En la gráfica de las bandas para las variables, en fructificación con aislante, se observó que entre las 23:30 y las 8:00 aproximadamente, estas no estaban completamente contenidas, pero la curva correspondiente al día 1 sí se encontraba en este lapso de tiempo. Luego, aun cuando esta curva tomó valores extremos, según la tendencia de las demás, dichos valores extremos eran correspondientes con los esperados, lo cual confirma que la variable estaba entregando números que se situaban muy alejados de los índices de confort.

### 3.5. Prueba de hipótesis: para igualdad de funciones de medias – temperatura y humedad relativas

**Gráfico 5. Imagen de la prueba de hipótesis donde se examina la diferencia existente para la temperatura, con y sin aislante en fructificación.**



Fuente: Elaborada por los autores con el software software R-project, versión 3.0.3

Como se observa, ambos procesos reflejaron un comportamiento casi periódico para la variable temperatura. Esta gráfica, además, representa el comportamiento continuo de los 7 días de la semana de medición. Para validar la hipótesis, se hicieron cortes de acuerdo a la periodicidad (ya no cada 12 horas) en el comportamiento de la variable, pues era necesario captar esos intervalos en donde se observaba que uno de los procesos producía mayor temperatura que el otro, y en otros intervalos el efecto contrario.

Sobre el nivel de confianza, de acuerdo con la gráfica anterior, hubo intervalos en donde el cambio en la temperatura de un proceso a otro fue de 1 o 2°C, y era de interés captar esta pequeña variación. Por ende, se trabajó con un nivel de confianza más restrictivo sobre la desviación de una función de media con la otra (85% de confianza). Los valores obtenidos fueron:

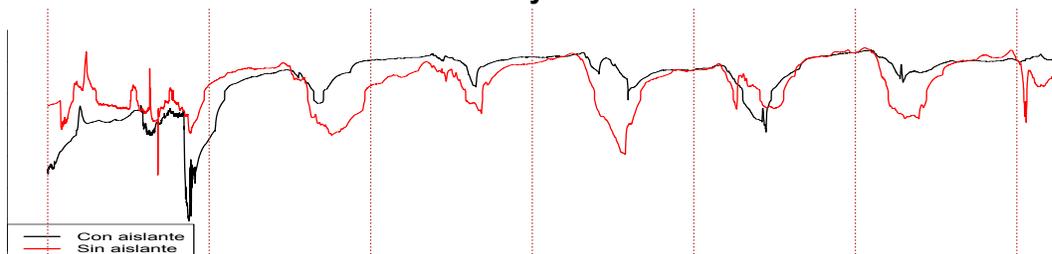
**Tabla 7. Valores obtenidos para la prueba de hipótesis en temperatura.**

$V$	$V_{0,85}$	$V > V_{0,85}$
11055.54	10955.15	<i>TRUE</i>

Fuente: Elaborada por los autores, obtenida del software software R-project, versión 3.0.3

Con los resultados anteriores, se concluye así que las temperaturas medias de ambos procesos fueron distintas.

**Gráfico 6. Imagen de la prueba de hipótesis donde se examina la diferencia existente para la humedad relativa con y sin aislante en fructificación.**



Fuente: Elaborada por los autores con el software software R-project, versión 3.0.3

**Tabla 8. Valores obtenidos para la prueba de hipótesis en temperatura.**

$V$	$V_{0.85}$	$V > V_{0.85}$
81260.66	82636.38	FALSE

Fuente: Elaborada por los autores, obtenida del software R-project, versión 3.0.3

Para el caso de la variable Humedad Relativa, aun con un nivel de confianza restrictivo, la prueba no rechaza la igualdad de funciones de media, luego la humedad relativa media en el proceso de fructificación con aislante y sin aislante no se desvía de manera significativa. En la gráfica de comparación de ambos procesos, se observa que en el principio de la curvas, la humedad relativa estaba tomando valores mayores para el proceso sin aislante que para el proceso con aislante. Sin embargo, a partir de las mediciones del segundo corte, empiezan a invertirse los datos. En algunos casos toman valores muy cercanos y, en otros, valores alejados.

### 3.6. Balance de calor para la determinación de la calefacción en las estructuras

Con base en los datos estadísticos, se determinó que en lo que respecta al cálculo de las pérdidas de energía que se dan en las estructuras, solo se estimarían en el cuarto de incubación. Las temperaturas mínimas que se registran en el invernadero son, en promedio, cercanas a los 13°C, tomando tanto los datos históricos como los medidos, siendo esta una temperatura por debajo de los índices de confort, pero que se considera admisible para el control climático del cultivo. Para el cálculo de las pérdidas de calor dentro del cuarto, se empleó la ecuación que recomienda Acuña [4], donde dichas pérdidas son iguales a una sumatoria de las que existen a través del suelo, las que se dan por renovaciones de aire, producidas por radiación y conducción-convección.

Primero se obtuvieron las pérdidas producidas por conducción-convección, teniendo en cuenta un área de transferencia de calor de 36,7 m<sup>2</sup>, dada a través de las paredes construidas en ladrillo estructural, las puertas de acero que presentaba el cuarto, el techo en asbesto cemento, las ventanas y el poliéster que cubría las estructuras anteriores y una temperatura alta a 20°C y baja a 13,4°C. Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor, se emplearon las estimaciones hechas por Hall y Salas [5], para el almacenamiento de productos agrícolas y, con ello, finalmente se obtuvo el valor de la pérdida de calor, siendo esta de 4,20 Kcal/hm<sup>2</sup>. En el caso de las pérdidas por renovación de aire, se partió de la expresión:

$$Q_{renovación} = (v * \left(\frac{1}{V_e}\right) * (no. de renovaciones) * \Delta h)$$

Donde,  $v$  es el volumen del cuarto, 62,02 m<sup>3</sup>;  $V_e$  es el volumen específico del aire al interior del cuarto, 1,12 m<sup>3</sup>/s para una condición interna de 20°C y humedad relativa del 60%, y una externa de 13,4°C y humedad relativa del 90%;  $\Delta h$  es la diferencia de entalpías obtenida a partir de las condiciones anteriores, siendo esta del 1,91 Kcal/Kg.

En lo que respecta al número de renovaciones de aire, SENA [6], recomiendan de 10 a 12 renovaciones de volúmenes/hora, para un cuarto de incubación de Orellanas. En este caso, con el fin de calcular el valor, se recomendaron 12, obteniendo al final un resultado de pérdida de calor por renovación de aire de 58,09 Kcal/hm<sup>2</sup>.

Al estimar las pérdidas por radiación y a través del suelo, se utilizaron también las ecuaciones empleadas por Acuña. En el primer caso, para el cálculo se usaron las condiciones climáticas con las que se obtuvo la pérdida de energía por renovación de aire, así como una constante del material, dependiendo de cada parte del cuarto analizada (paredes, techo, ventanas y puertas), hallando así un valor de 20,85 Kcal/m<sup>2</sup>. En el segundo caso, para estimar las pérdidas a través del suelo, se sumaron los resultados anteriores y a esta sumatoria se le calculó el 5%, tomando esta como la pérdida de energía, con un valor de 4,16 Kcal/hm<sup>2</sup>. Finalmente, la pérdida de calor total en el cuarto se determinó sumando todos los resultados obtenidos, arrojando al final un valor de 87,3 Kcal/hm<sup>2</sup>.

Como paso final, se llevó a cabo el cálculo del calor de respiración que generaba el producto almacenado, multiplicando la masa de producto almacenada en el cuarto, 2,4 toneladas, por el calor de respiración que genera el producto como calor latente, el cual tuvo un valor de 0,4. Al final, se halló un valor de calor de respiración de 43,93 Kcal/hm<sup>2</sup>.

Al tener en cuenta el calor perdido a través del cuarto, menos el otorgado por respiración del producto, se determinaron unas pérdidas de 43,37 Kcal/hm<sup>2</sup>; es decir, el cuarto estaba perdiendo esta cantidad de energía en las horas de la madrugada y se necesitaba suplir dicha energía para mantener las condiciones de confort dentro de la estructura.

### 3.7. Propuesta de plan de acción

Para solucionar los problemas que se presentaban con el sistema de nebulización, en el invernadero de fructificación, se estableció que era necesario instalar un conjunto bomba, controlador y válvula solenoide, de forma que se pudiera programar el tiempo de nebulización, entregándole la presión que se necesitaba. Este diseño contó con los siguientes implementos: tanque de almacenamiento de agua (500 Lt, 68 cm de altura, diámetro de 103 cm), Bomba centrífuga ( $\frac{3}{4}$  hp, 45 L/min, carga de 40 m, 120 VAC, 60 Hz, 3450 R.P.M), controlador de riego (112VAC, salidas para 12 VDC Y 24 VDC, con 9,18 y 27 salidas configurables, 6 entradas digitales en la base, programación por tiempo y volumen con opción de sensores climáticos), válvula solenoide (con rosca hembra, filtro interno de acero inoxidable, apertura manual con descarga interior, cierre lento, anti-golpe de ariete, solenoide de 24 VDC).

Dentro del cuarto de incubación se determinó que era necesario instalar un equipo para controlar la temperatura, pero que al mismo tiempo este debería mantener la humedad relativa dentro de los índices de confort. Dicho diseño contó con estos elementos: ventilador de pared, 2 ensaladeras industriales, temporizador análogo (rango de 5 s – 100 horas, 6 salidas programables, 12-120V AC/DC, 48 x 48 mm), conjunto criadora infrarroja de pollos (manguera para gas, regulador, abrazadera  $\frac{1}{2}$ " , criadora infrarroja M8 de 4310 Kcal/hora de 160 x 210 mm, termostato individual para controlar el encendido y apagado de la criadora).

### 3.8. Pasos para la instalación del diseño

Para la instalación dentro del invernadero de fructificación, se establecieron las siguientes actividades: instalación de la bomba centrífuga con su respectiva válvula solenoide y controlador con

tanque a la tubería de 6 mm del sistema de nebulización y a la tubería de la cual se capta el agua; saturación del tanque del cual tomaría agua la bomba para siempre poder cebarse, no tener problemas de cavitación y hacer una revisión continua, observando que el nivel del agua del tanque esté siempre por encima del nivel de la tubería del cual la bomba tome el agua; programación de la nebulización con el controlador respectivo. Finalmente, se hizo la observación de que en lo que respecta al uso del ventilador y el extractor, se mantendría el mismo funcionamiento que se estuvo haciendo, sin modificar ninguna característica de este.

En relación con el cuarto de incubación, también se determinaron los siguientes pasos: Instalación de la criadora dentro del cuarto, con todo su conjunto, colocando dicha criadora en el techo entre 1,2 a 1,5 metros de distancia del cultivo; Instalación del ventilador de pared, de tal forma que este quede a la misma altura o más alto que la criadora y apuntando hacia esta; llevar a cabo la programación del tiempo de funcionamiento del ventilador con el temporizador al conectarlo; organización de los estantes, de tal forma que nunca obstaculicen el extractor y permitan su libre flujo de aire. Como paso final, también se hizo la observación de que se continuaría con el mismo funcionamiento del extractor dentro del cuarto, sin ningún tipo de modificación sobre este.

**3.8.1. Protocolo diseñado para el manejo de equipos y control climático en el invernadero de fructificación.** A la hora de la implementación del diseño, se determinó que se debían seguir las siguientes recomendaciones de funcionamiento para que este fuera lo más eficiente posible: Hacer una revisión para asegurarse que la bomba esté conectada a la toma de corriente respectiva; programar el encendido y apagado de la bomba por 10 segundos cada 10 minutos, de 9:00 am 4:00 pm todos los días; poner en funcionamiento el ventilador y el extractor del invernadero por 1 hora, entre las 9: am y las 4:00 pm, (de 8 a 9 minutos por hora – idealmente); en los momentos en que se esté cosechando, no accionar los ventiladores; reducir al mínimo el número de interferencias de personas al invernadero; ubicar dispositivos de medición de temperatura y humedad relativa siempre en la mitad del invernadero; revisar constantemente los valores de humedad y temperatura, de forma que estos estén dentro de los índices de confort, y no dejar elementos ajenos al cultivo en el invernadero.

**3.8.2. Protocolo diseñado para el manejo de equipos y control climático en el cuarto de incubación.** Al igual que en el invernadero, en el cuarto de incubación se elaboraron las recomendaciones de funcionamiento respectivas, siendo estas las siguientes: hacer una revisión, determinando si el ventilador está conectado a la toma de corriente del cuarto; programar el temporizador del ventilador para accionarlo por 10 minutos cada hora, durante todo el día; asegurarse que la dirección del viento del ventilador siempre esté dirigida a la criadora y las ensaladeras; llenar de agua las ensaladeras y ponerlas entre los estantes; revisar los filtros de la manguera y la bomba de gas de la criadora; llevar a cabo una inspección para asegurarse que la válvula de la bombona de gas esté siempre abierta; programar el controlador de temperatura del conjunto de la criadora de gas, estableciendo como umbral de accionamiento 20°C; accionar el extractor del cuarto por 15 minutos cada 2 días; organizar la estantería de forma que se deje siempre espacio libre para que el extractor pueda funcionar adecuadamente y para que no tenga interferencias en su expulsión del aire; ubicar los equipos de medición de humedad relativa y temperatura, siempre en la mitad de los estantes y en un lugar representativo para el cultivo.

### 3.9. Observaciones sobre el diseño propuesto

- Al observar el catálogo de los nebulizadores, se determinó que la presión de operación adecuada para que estos funcionaran correctamente era de 4 bares. Al tener un resultado de 0,955 bar solo en la entrada del sistema, no se hizo necesario el cálculo en otros puntos de la tubería, ya que de entrada se entendió que no se estaba cumpliendo con la presión de operación para los nebulizadores.
- La recomendación de un tiempo de nebulización, no mayor a 10 segundos, tiene como principal sustento el hecho de que si la seta se humidifica por más de 10 segundos, se puede entorchar afectando así su calidad. Del mismo modo, si el intervalo es muy grande, no se puede ejercer un control climático adecuado, algo que queda muy claro a la hora de analizar los datos estadísticos.
- La programación de la nebulización se realizó en función de la caída de la humedad relativa, en el instante que se aplicaba la nebulización y cuando esta podía estar por debajo del confort deseado, durante distintos momentos del día, basándose en los datos climáticos tomados.
- Los datos de caudal del ventilador, tomados en el invernadero, indicaron que este estaba funcionando en plenas condiciones, mientras que los del extractor mostraron que parte del caudal que debería arrojarse no se alcanzó. Esto debido al área que existía de 3,19 m<sup>2</sup> en un costado superior del invernadero al exterior, por donde se escapaba el caudal restante, que arrojaba el ventilador bajo las condiciones que se tenían.
- Se pensó en dejar la misma programación de la ventilación que se venía llevando a cabo en las dos estructuras, ya que no se presentaron problemas fitosanitarios en el cultivo o derivados del funcionamiento de la combinación extractor - ventilador.
- De acuerdo con el balance de calor efectuado en el cuarto, se presentaron dos alternativas para aplicar calor al mismo, tomando al final la opción de aplicación a base de gas. Esta decisión, en gran medida, fue tomada por los costos de operación que podrían llegar a generar una u otra opción, siendo los de calefacción por cualquier medio eléctrico mucho más altos. Finalmente, se decidió emplear la calefacción por gas, puesto que esta genera una gran potencia calorífica y, con ello, los valores de confort se podían lograr en cuestión de segundos.
- Siendo que en el cuarto de incubación se debía hacer también una humectación a parte de la calefacción ya nombrada, se pensó en instalar un ventilador de pared que extrajera agua de las ensaladeras dispuestas en el piso hasta homogenizar las condiciones del cuarto, en lo que a la humedad relativa respecta.

## 4. CONCLUSIONES

- De acuerdo con lo evaluado en el invernadero, se mantuvieron las mismas condiciones de funcionamiento de los extractores y el ventilador en su respectiva estructura, puesto que no se presentaron problemas de excesos de humedad o fitosanitarios.

- La mejor opción para aumentar la eficiencia de la nebulización, ligada a la pérdida de presión, fue instalar un conjunto bomba-válvula solenoide, con su respectivo programador, que entregara así la presión adecuada al sistema.
- Se determinó que dentro del cuarto de incubación se debían llevar a cabo mejoras para el control climático aparte del aislamiento térmico, las cuales se basaban en la instalación de un conjunto bombona, controlador de temperatura, criadora infrarroja y un ventilador de techo para la circulación de aire y ganancia de humedad por medio de unos recipientes.
- La programación por tiempo, tanto de la nebulización como del ventilador, es susceptible de cambio, puesto que las condiciones cambian, sobre todo en lo que respecta a la cantidad de cultivo manejado. Por tal motivo, se dejó abierta la posibilidad a que esta pueda ser modificada en una implementación futura.
- La estadística mostró que, en relación al control climático, los valores de temperatura y humedad relativa, ya fueran a subir o bajar en el invernadero o en el cuarto, no son muy altos. Por ende, las labores y el diseño propuesto, en su gran mayoría, fueron basados en un acondicionamiento de las instalaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MUSHWORLD. Cultivo de Hongos Ostra, 2005. [En Línea]. Disponible en: <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/P/liga2.htm>
- [2] J. O. Ramsay and B. W. Silverman, Springer series in statistics, Functional data analysis. Second edition. New York: Springer editorial, 2005.
- [3] J. P. Aristizabal Rodríguez, "Metodología estadística para el análisis de datos funcionales cerebrales: Una aproximación con potenciales evocados". Tesis M.Sc., Dept. Est. Colombia: Univ. Nacional De Colombia, 2011.
- [4] J. F. Acuña Caita, Control climático de invernaderos. Colombia: Opciones Gráficas Editores Ltda, 2009.
- [5] W. H. Carl y F. S. Arango, Equipo para el procesamiento de productos agrícolas. Lima, Perú: IICA, 1968.
- [6] SENA. Cultivo Comercial De La Orellana, 2012 [En línea]. Disponible en: <http://oferta.senasofiaplus.edu.co/sofia-oferta/detalle-oferta.html?fm=0&fc=y6vplLhsssQ>