

En español

Evaluación de un sistema de humidificación de hoja de tabaco por nebulización¹

Néstor Enrique Cerquera Peña², Fernanda Carvajal Solórzano³ y Eduardo Pastrana Bonilla⁴.

RESUMEN

Se diseñó, implementó y evaluó un sistema de humidificación por nebulización para la hoja de tabaco, que cuenta con un sistema para el control y el registro de las condiciones ambientales del recinto, lo que permite generar un ambiente con humedad relativa más homogénea, logrando un mejor uso del agua y mayor control en la humedad relativa y en el manejo del contenido de humedad de la hoja de tabaco curada, con la consiguiente mejora en la calidad del producto a comercializar. Se obtuvieron rangos de trabajo de humedad relativa entre el 55 y el 75%, y tiempos de 4 a 6 horas para alcanzar la rehumidificación de la hoja hasta el 16%, en base húmeda. Con base en los resultados obtenidos y las observaciones hechas en campo, en cuanto al manejo operativo de este recinto, se propusieron dos nuevos diseños para el sistema de humidificación que permitirían un mejor manejo de la hoja reduciendo las pérdidas por manipulación y sobrehumedecimiento. Este trabajo fortalece el proceso de investigación en el área de la poscosecha de tabaco, al complementar otros proyectos de investigación al respecto, que se han realizado en Colombia.

Palabras clave: fosa de tabaco, acondicionamiento, humidificación, poscosecha de tabaco, tabaco Virginia.

Recibido: enero 30 de 2009
Aceptado: marzo 03 de 2010

Introducción

La poscosecha es de gran importancia en la producción de tabaco por el valor agregado que se le da a la hoja; sin embargo, en ella se han detectado muchos problemas durante las etapas de recolección, curado, almacenamiento, acondicionamiento, y clasificación que demeritan la calidad del producto final y generan pérdidas económicas.

¹ El proyecto se realizó gracias a la financiación y apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Fondo Nacional del Tabaco, el IICA, la Gobernación del Huila, la Asociación de Cultivadores de Tabaco de Garzón —Asotagar— y la Universidad Surcolombiana.

² Ingeniero Agrícola, Universidad Surcolombiana, Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. M.Sc., en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. M.Sc., en Dirección Universitaria, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. cerquera@usco.edu.co

³ Ingeniera Agrícola. Auxiliar de investigación, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. fercha1566@hotmail.com

⁴ Ingeniero Agrícola, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. M.Sc., en Ciencia de los alimentos y Enología, California state university, California, Estados Unidos. Ph.D., en Ciencias y Tecnología de Alimentos, University of Georgia, Atenas. Profesor Titular, Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. pastrana@usco.edu.co

In English

Evaluating a tobacco leaf humidification system involving nebulisation⁵

Néstor Enrique Cerquera Peña⁶, Fernanda Carvajal Solórzano⁷ and Eduardo Pastrana Bonilla⁸

ABSTRACT

A tobacco leaf humidifying system involving nebulisation was designed, implemented and evaluated; it had a system for monitoring and recording environmental conditions thereby producing an environment having more homogeneous relative humidity, ensuring better water use, better control of relative humidity and better control in managing cured tobacco leaf moisture content, thereby leading to a consequent improvement in final product quality. 55% to 75% relative humidity and 4 to 6 hour working ranges were obtained to ensure leaf humidification reached 16% humidity on a wet basis. Two new designs are proposed for the conditioning stage regarding this conditioning chamber's operational management, based on the results and field observations, which would allow better leaf management, thereby avoiding the risk of losses due to manipulation and over-humidification. This work strengthens research in the field of tobacco post-harvest technology, complementing other research projects which have been carried out in Colombia.

Keywords: tobacco barn, conditioning, humidification, tobacco post-harvest, fogger/nebuliser, Virginia tobacco.

Received: jan 30th 2009
Accepted: march 03th 2010

Introduction

Tobacco leaf post-harvest is of great importance due to the product acquiring added value; however, there have been many problems during harvesting, curing, storing, packaging and classification stages thereby reducing final product quality and leading to economic losses.

⁵ The project was made possible with funding and support from the Ministry of Agriculture and Rural Development, Fondo Nacional del Tabaco, IICA, la Gobernación del Huila, la Asociación de Cultivadores de Tabaco de Garzón —Asotagar— y la Universidad Surcolombiana.

⁶ Agricultural Engineering, Universidad Surcolombiana, Colombia. Specialist in Food Science and Technology, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. M.Sc., in Agricultural Engineering, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. M.Sc., Sc. in Education Management, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Associate Professor, School of engineering, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. cerquera@usco.edu.co

⁷ Ingeniera Agrícola. Auxiliar de investigación, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. fercha1566@hotmail.com

⁸ Agricultural Engineering, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. M.Sc., in Food Science and Enology, California state university, California, Estados Unidos. Ph.D., in Food science and technology, University of Georgia, Atenas. Professor, School of engineering, Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia. pastrana@usco.edu.co

En español

En cuanto a la etapa de acondicionamiento de la hoja, el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA (2005), afirma que la adición de agua a la hoja curada “es una práctica mediante la cual se humecta el tabaco para facilitar su manejo en el proceso de clasificación. La humectación de tabacos estufados se debe hacer en una sala con doble encamaretado lateral y un corredor central para la ubicación de las cujes y el humidificador. El humidificador es un equipo que genera microgotas de agua, las cuales son distribuidas y recirculadas dentro de la sala por medio de un ventilador”. Esta recomendación recoge la práctica habitual en Colombia en cuanto al beneficio tradicional de la hoja curada. En sistemas automatizados como el *Flue cured* y *Bulk Tobacco*, muy poco empleados en el país, esta etapa en un recinto adicional no se contempla debido a que en el mismo equipo en que se realiza el proceso de curado y como fase final del mismo se humidifica la hoja con el fin de prepararla para su siguiente paso, que corresponde a la clasificación de la hoja. De igual manera sucede en el “horno modular *bulk-cured*”, diseñado y evaluado por Protabaco S. A. (2005), y en el “horno de curado de tabaco por convección forzada USCO-MADR”; este último cuenta con un sistema de humidificación ubicado a la salida del ducto del aire forzado y por acción del ventilador se distribuye la humedad suministrada por los nebulizadores (en forma de nube) al interior del horno de curado (Cerquera et al., 2007). En la fase de acondicionamiento de la hoja de tabaco, denominada “fosa de tabaco”, se presentan deficiencias en el manejo de los tiempos de permanencia y en el nivel de rehumidificación de la hoja, el cual no debe superar el 16% en base húmeda; cuando es mayor suele presentarse desarrollo de hongos, cambios de coloración (manchas) y pérdidas causadas por descomposición; si por el contrario, la hoja sale de la fosa con muy baja humedad se hace quebradiza, poco manejable por el clasificador, y se incrementan las pérdidas por daño físico. Según el estudio “Evaluación del secado en los hornos tradicionales de curado de tabaco” (Cerquera et al., 2006), se presentan deficiencias en la humidificación de la hoja, ya que usualmente la fosa sólo cuenta con un humidificador que tiene un área de cubrimiento limitada, ocasionando desuniformidad en la humedad relativa y provocando una humidificación alta al producto ubicado en su cercanía y prácticamente ningún efecto sobre el producto alejado del equipo. En consecuencia, se diseñó, implementó y evaluó un sistema de humidificación por nebulización, con el objetivo de brindar un mejor manejo a esta etapa, presente en el sistema tradicional de curado del tabaco.

Metodología

Ubicación del proyecto. Para su ejecución se seleccionó la “fosa de tabaco” de la finca Villa Diamante, ubicada en el kilómetro 5 en la vía que conduce del municipio de Garzón al de El Agrado, en el departamento del Huila.

Cálculo del sistema de humidificación. Se calculó y diseñó el sistema de humidificación por nebulización para la fosa de tabaco siguiendo la metodología propuesta por Cifuentes (2001).

Instalación del sistema de humificación: se realizaron las siguientes etapas:

-*Instalación de tuberías.* Ésta comprendió la instalación de la línea principal en tubería PVC de 1 pulgada RDE 26 y de los laterales del sistema en manguera de 16 mm PR 35.

In English

The Colombian National Learning Service (SENA, 2005) has stated that adding water to cured leaves moisturises them for easier handling during classification. Moistening hot-air cured tobacco should be done in a barn provided with double bins and a central corridor for locating the racks and humidifier. The humidifier produces micro droplets of water which are distributed and circulated within the room by a fan. Such recommendation reflects current practice in Colombia in terms of traditional cured leaf practice. Flue-cured and bulk tobacco automated systems are little used in Colombia; this stage is not usual at an additional site because the leaf is humidified and prepared for the next step (i.e. classification) in the same place where curing is performed, just as happens in the modular oven for bulk curing tobacco process designed and evaluated by Protabaco SA (2005) and in tobacco leaf curing by forced convection oven (USCO-MADR). The latter has a humidification system located off the forced air duct because the fan air distributes the moisture provided by nozzles as a cloud inside the curing oven (Cerquera, et al., 2007). Deficiencies arise in managing retention time and the level of leaf humidification during the tobacco leaf conditioning phase (herein called tobacco barn) which should not exceed 16% on a wet basis (wb) because, when such percentage is greater, fungal growth, discolouration (spots) and losses caused by decomposition usually occur. On the contrary, when the leaves leave the barn having very low humidity they are brittle and unwieldy for the classifier, also leading to increased loss by physical damage. A study entitled, “Evaluating drying in traditional curing tobacco leaf ovens” (Cerquera et al., 2006) found that leaf humidification was inadequate, mainly because the barn had only one humidifier providing a limited coverage area, thereby leading to lack of uniform relative humidity causing high humidification of the product located in its vicinity and having virtually no effect on product located away from the device. A humidification system involving nebulisation (fogger) was thus designed, implemented and evaluated to provide better management during this crucial stage during the traditional tobacco curing system.

Methodology

Project location: The Villa Diamante farm’s tobacco barn was selected for carrying out this project; it is located five kilometres from the city of Garzon on the way to El Agrado in the Huila department.

Calculating the humidification system: The tobacco leaf nebulisation humidification system was designed and calculated following the methodology proposed by Cifuentes (2001).

Humidification system installation: There following steps were performed:

-*Installing the pipes.* The main line consisted of 1” RDE 26 PVC pipe and 16 mm PR 35 was used for the lateral hoses.

En español

In English

-Instalación de unidades de nebulización. Se instalaron 48 nebulizadores Fogger base azul a una distancia de 1,5 m (Figura 1). Estos nebulizadores trabajan a 40 PSI con un caudal de descarga de 32 litros por hora (LPH) y están provistos de válvula antigoteo (Figura 2).

-Instalación del sistema de bombeo. Se instaló una electrobomba centrífuga de una pulgada y cuarto de diámetro a la succión por una pulgada a la descarga con motor monofásico de 1 HP y se instaló un tanque de abastecimiento de 1.000 litros con sus accesorios, en la parte exterior de la fosa.

-Automatización. Se empleó un sistema de control que enciende o apaga la electrobomba en función de la humedad relativa del ambiente, diseñado por Gómez *et al.* (2006).

Evaluación hidráulica del sistema de humidificación: se evaluó el sistema adaptado a la "fosa de tabaco" determinando las siguientes variables: el coeficiente de uniformidad, siguiendo la metodología propuesta por Christiansen (Perea *et al.*, 1998), que es una representación estadística de la uniformidad, utilizado principalmente en los sistemas de aspersión, siendo el parámetro de uniformidad de uso más generalizado (Perea *et al.*, 1998), y el caudal de descarga, midiendo el caudal a diferentes presiones.

Evaluación de las condiciones ambientales de la fosa de tabaco: se realizó el seguimiento de la humedad relativa y de la temperatura en la fosa de tabaco durante las 24 horas del día, con ayuda de dos termohigrómetros digitales marca Extech USA, modelo 42270, los cuales registraron lecturas cada cinco minutos. El primero fue ubicado a una altura de 3,5 m sobre el nivel del piso, quedando localizado por encima de la línea de nebulizadores (medidor A2) y el segundo (medidor B2) a una altura de 2 m sobre el nivel del piso, ubicado por debajo de la línea de nebulizadores y protegido contra la incidencia directa del agua al ser accionado el sistema.

-Installing nebulisation units. 48 blue-base fogger/nebulisers were installed at 1.5 m distance from each other (Figure 1). These nozzles worked at 40 PSI, 32 litres per hour (LPH) discharge rate and were fitted with an anti-drip valve (Figure 2);

-Installing the pumping system. A 1 HP centrifugal pump was installed having 1¼" suction diameter and 1" discharge. A 1,000 litre supply tank was installed (with its accessories) outside the barn; and

-Automation. An automatic control system was also installed; it was designed by Gomez *et al.*, (2006), turning the electric pump on or off depending on relative humidity.

Hydraulic evaluation of the humidification system: The system adapted for the tobacco barn was evaluated in terms of the following two variables. The coefficient of uniformity was determined following the methodology proposed by Christiansen (Perea *et al.*, 1998); this is a statistical representation of uniformity used in spray systems and is the most widely used parameter for uniformity (Perea *et al.*, 1998). Discharge flow was measured at different pressures.

Evaluating environmental conditions in the tobacco barn: Relative humidity and the temperature in the tobacco barn was monitored 24 hours per day using two digital thermo hygrometers (Extech USA, model 42 270) which recorded readings every five minutes. The first was located 3.5 m above the floor, this being above the nebuliser line (meter A2) and the second (B2 meter) 2 m above floor level, located below the nebuliser line and protected from direct impact by water when the system was in operation.



Figura 1. Instalación de los nebulizadores Fogger
Figure 1. Installing fogger nebulisers



Figura 2. Nebulizador Fogger azul de 32 LPH
Figure 2. 32 LPH blue fogger nebulizer

Evaluación de las condiciones de humedad de la hoja de tabaco: se determinó el contenido de humedad de la hoja de tabaco tomando cuatro muestras de ésta durante el día, llevándolas a la estufa y empleando el método gravimétrico oficial No. 966.02 de la AOAC (1998). Como a la fosa ingresó tabaco de seis hornos, el seguimiento se hizo a cada uno de ellos, para un total 24 ensayos. En la sala de clasificación se tomaron muestras para la determinación del contenido de humedad de la hoja de tabaco y sus características en cuanto a la facilidad de manipulación.

Evaluating tobacco leaf moisture conditions: Tobacco leaf moisture content was evaluated by taking four samples throughout the day and bringing the samples to the stove, following the official AOAC gravimetric method (No. 966.02/1998). A total of 24 samples were evaluated because leaves from six stoves entered the tobacco barn and all were monitored. Samples were taken in the tobacco leaf classification area to determine leaf moisture content and leaf characteristics in terms of ease of handling.

En español

In English

Resultados

Detalle del diseño y distribución en planta del sistema de humidificación por nebulización en la “fosa de tabaco”: los detalles del diseño y las instalaciones efectuadas para el montaje y evaluación del sistema de humidificación por nebulización se observan en las figuras 3 a 6.

Evaluación hidráulica: los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica son los siguientes:

Caudal y presión. De acuerdo a la información suministrada por el fabricante, el nebulizador Fogger base azul trabaja a 40 PSI con un caudal de descarga de 32 LPH. Como se observa en la figura 7, el caudal obtenido en la evaluación realizada a los nebulizadores instalados en la red, a una presión de 40 PSI presenta una diferencia del 2% respecto del caudal teórico. Esta diferencia no es significativa si se tiene en cuenta que existen pérdidas de presión en la conducción y aditamentos del sistema instalado, lo que permite un alto grado de confianza en el diseño realizado con las especificaciones técnicas.

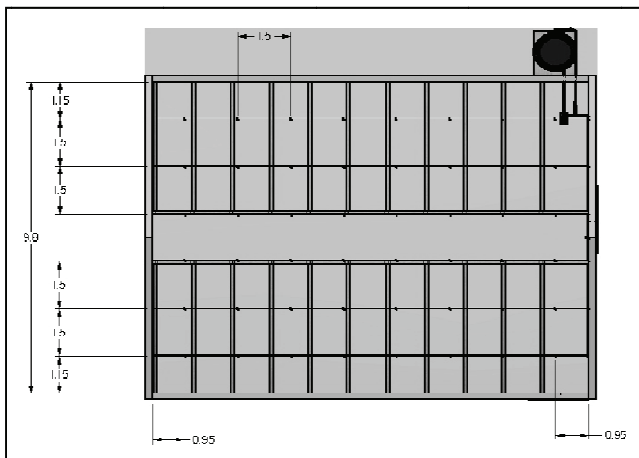


Figura 3. Distribución en planta del sistema de humidificación por nebulización en la fosa de tabaco.

Results

Figures 3-6 show the details of the design and the layout for the installations built for evaluating the tobacco leaf humidification/nebulisation system.

Hydraulic assessment dealt with:

Flow rate and pressure. According to information provided by the manufacturer, the blue base fogger nebulizer works at 40 PSI with a 32 LPH (litres per hour) discharge rate. Figure 7 shows that the flow obtained when evaluating the nebulisers installed in the network at a pressure of 40 PSI had a 2% margin compared to the theoretical flow. This difference was not significant if it is considered that there were pressure losses in the conduction system and the accessories, thereby providing a high degree of confidence in the design made to the given technical specifications.

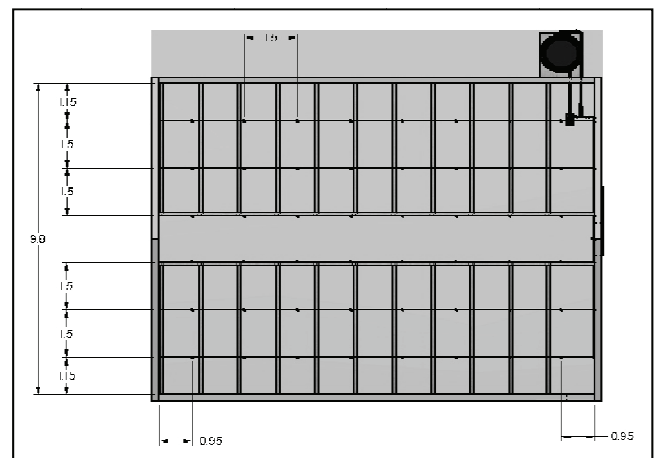


Figure 3. Distribution plant for the tobacco leaf humidification system involving nebulisation

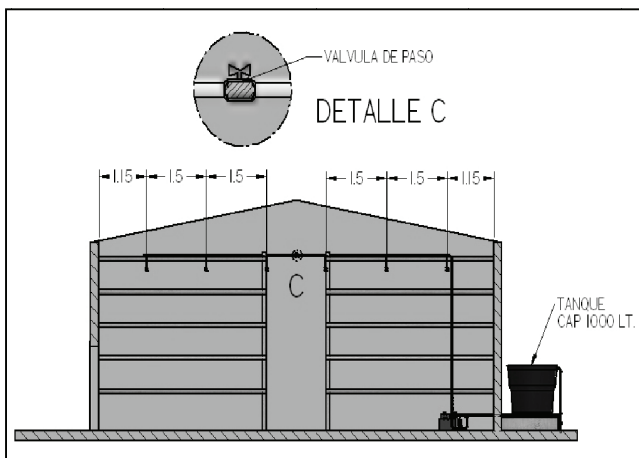


Figura 4. Corte transversal de la fosa de tabaco y detalles del sistema de humidificación por nebulización.

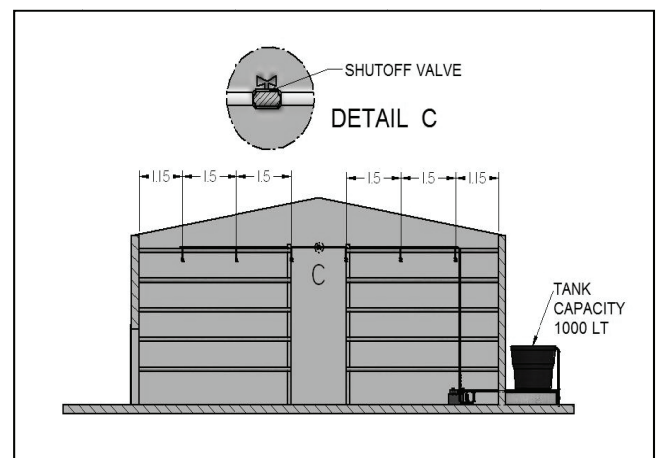


Figure 4. Cross-section of the tobacco barn and details of the humidification system involving nebulisation

En español

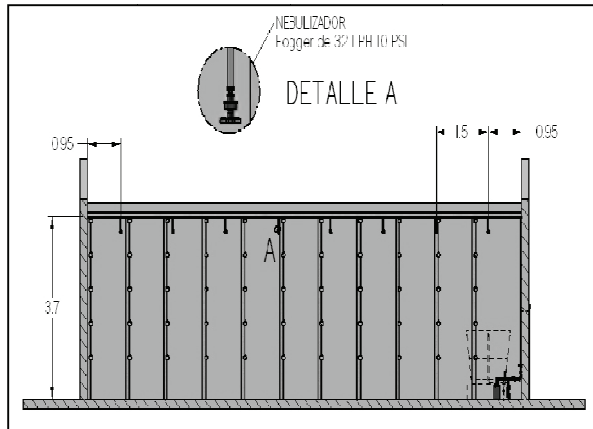


Figura 5. Corte longitudinal de la fosa de tabaco y detalles del sistema de humidificación por nebulización.

In English

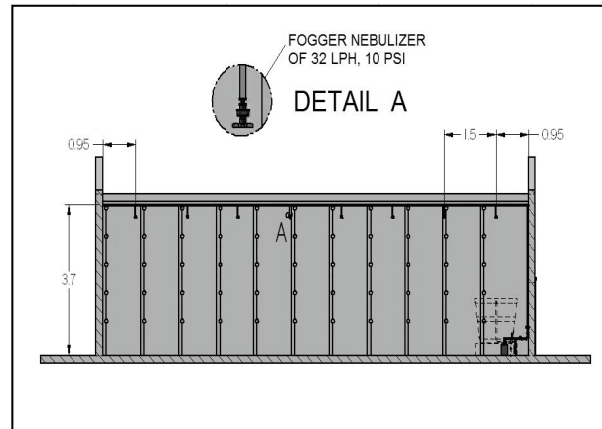


Figure 5. Longitudinal section of the tobacco barn and details of the humidification by nebulisation

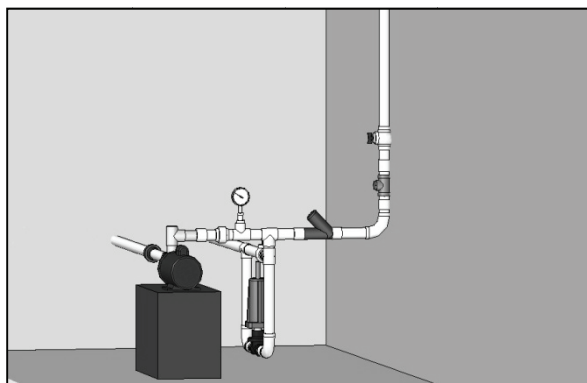


Figura 6. Detalle de instalación de la electrobomba y accesorios del sistema de humidificación por nebulización.

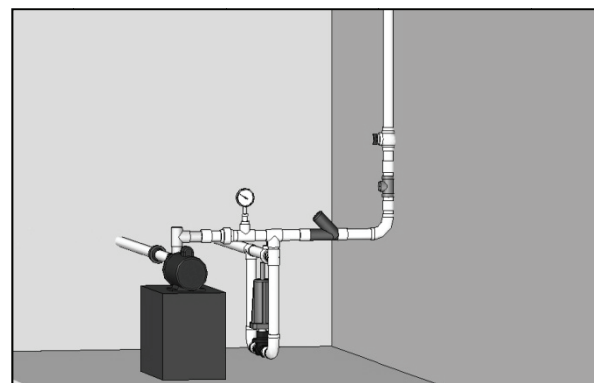


Figure 6. Details of the mist humidification system's electrical installation and accessories

Coefficiente de uniformidad. Se llevó a cabo un total de 32 observaciones, obteniéndose una lámina de agua promedio de 0,0028 mm, aplicada durante un tiempo de 30 minutos. El coeficiente de uniformidad (CU) calculado para el sistema de nebulización fue del 76,6%; Keller *et al.* (1990) recomiendan valores del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) de, al menos, el 85% en el caso de cultivos hortícolas, de entre el 75 y el 83% en el caso de cultivos con raíces más desarrolladas y 70% cuando se trate de cultivos leñosos; debido a que el sistema de nebulización se evaluó dentro de la fosa, se debe tener en cuenta que el coeficiente de uniformidad fue afectado por la estructura en guadua y madera instalada dentro de ella para colocar las varas o cujes que soportan el tabaco a humedecer, además en este sistema de nebulización parte del agua pulverizada se evapora y queda suspendida en el aire ambiental, con lo que se logra el objetivo de incrementar la humedad relativa. Por lo anterior, este coeficiente se considera aceptable e indica que el sistema de nebulización opera dentro del rango permitido y que el espaciamiento entre nebulizadores y laterales fue el adecuado.

Comportamiento del contenido de humedad de la hoja de tabaco: en la figura 8 se muestra el comportamiento del contenido de humedad en base húmeda (bh) de la hoja de tabaco para el ensayo 4 del horno 1. Este ensayo fue el de mayor duración. Se puede apreciar la variación del contenido de humedad durante el tiempo de permanencia de la hoja en la “fosa de tabaco”.

Coefficient of uniformity. 32 observations were taken over a 30 minute period, yielding an average 0.0028 mm water depth. The coefficient of uniformity (CU) calculated for the nebulising system was 76.6%. Keller *et al.*, (1990) recommend Christiansen uniformity coefficient (CU) values of at least 85% in the case of horticultural crops, 75% to 83% in the case of more developed root crops and 70% in the case of woody crops. As the nebuliser system was evaluated in the barn, it should be noted that the coefficient of uniformity was affected by the bamboo and wood structure installed within it for placing the poles or racks to support the tobacco leaves to become moistened. Water evaporated and became suspended in the air in this nebulised system, thereby achieving the object of increasing relative humidity. This ratio was thus considered acceptable and indicated that the nebuliser system operated within the allowable range and that there was suitable lateral spacing between nebulisers

Tobacco leaf moisture content pattern: Figure 8 shows the moisture content pattern on a wet basis for sample 4 from oven 1. This trial was the longest. Variation in moisture content during retention time for the sample is shown in the Figure.

En español

Ésta se debió a las fluctuaciones de la temperatura y la humedad relativa dentro de la fosa.

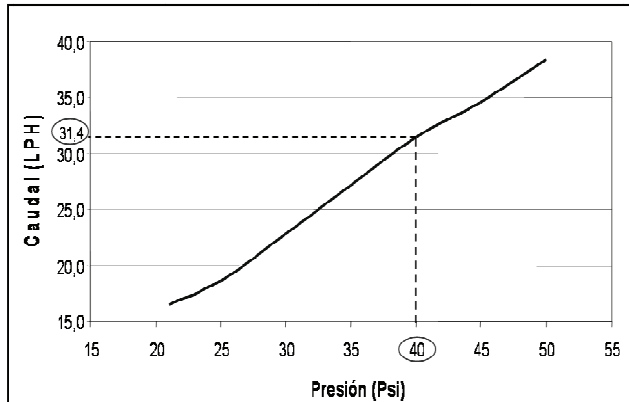


Figura 7. Curva característica de caudal en función de la presión, obtenida en la evaluación del nebulizador Fogger base azul de 32 LPH.

In English

Such variation was due to fluctuations in temperature and relative humidity inside the barn.

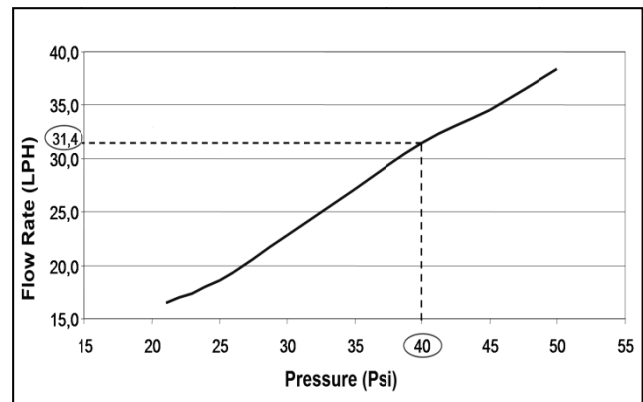


Figure 7. Flow rate curve, in terms of pressure, obtained when evaluating blue base spray fogger at 32 LPH

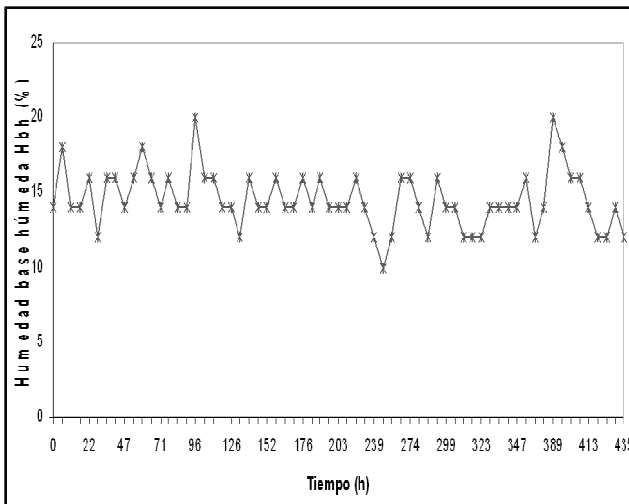


Figura 8. Comportamiento del contenido de humedad, en base húmeda, de la hoja de tabaco para el ensayo 4 del horno 1.

El contenido de humedad de la hoja de tabaco que ingresó a la fosa, después de un prehumedecimiento en el horno de curado, fue del 14% bh y al cabo de 4 horas en la fosa la hoja ya había alcanzado una humedad del 18% bh, lo que permitiría su fácil manejo en la sala de clasificación; sin embargo, la hoja permaneció en almacenamiento 18 días, con continuas variaciones en su contenido de humedad, lo que es completamente inadecuado para el producto y para el proceso.

En la figura 9 se presentan las temperaturas y humedades relativas registradas con el medidor A2, ubicado por encima de la línea de nebulizadores. En ella se aprecia la variación de estas condiciones durante el ensayo, encontrándose valores de humedad relativa desde el 26% hasta el 92%, y de temperatura desde 19,5 °C hasta 49,9 °C. Estos registros se tomaron como referencia para observar el comportamiento del ambiente interior de la fosa donde no hay efecto directo de los nebulizadores. En la figura 10 se aprecia el comportamiento de las condiciones ambientales registradas con el medidor B2, ubicado por debajo de la línea de nebulizadores, que se tomaron como referencia para el comportamiento de estas variables cuando se accionaba el sistema de humidificación.

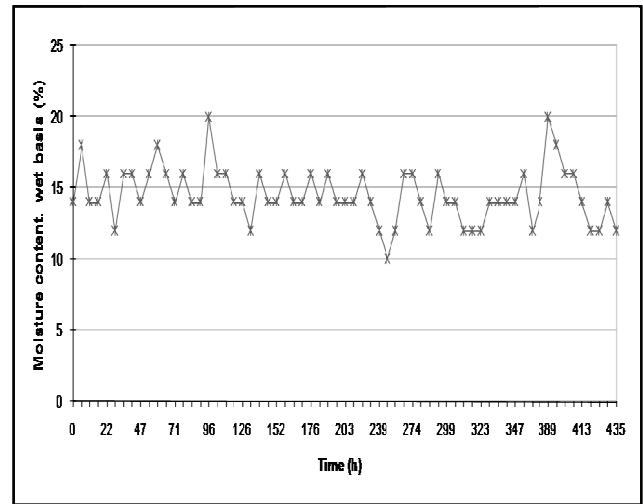


Figure 8. Moisture content pattern, wet basis, leaf sample 4, oven 1

There was 14% wb moisture content for tobacco leaf entering the barn, following pre-moistening in the curing oven; the leaf reached 18% wb humidity after four hours in the barn allowing easier manipulation in the classification area. However, the leaves remained in storage for eighteen days, with continuous variations in moisture content, this being grossly inadequate for the product and the process.

Figure 9 shows the temperature and relative humidity registered with meter A2 (located above the nebuliser line). It shows the variation in these conditions during the test (26% to 92% relative humidity and 19.5°C to 49.9°C). These records were taken as reference for observing the pattern for the barn's indoor environment where there was no direct nebuliser effect. Figure 10 shows the pattern of environmental conditions recorded with meter B2 located below the nebuliser line, this being taken as reference for these variables' pattern when powering the humidification system.

En español

In English

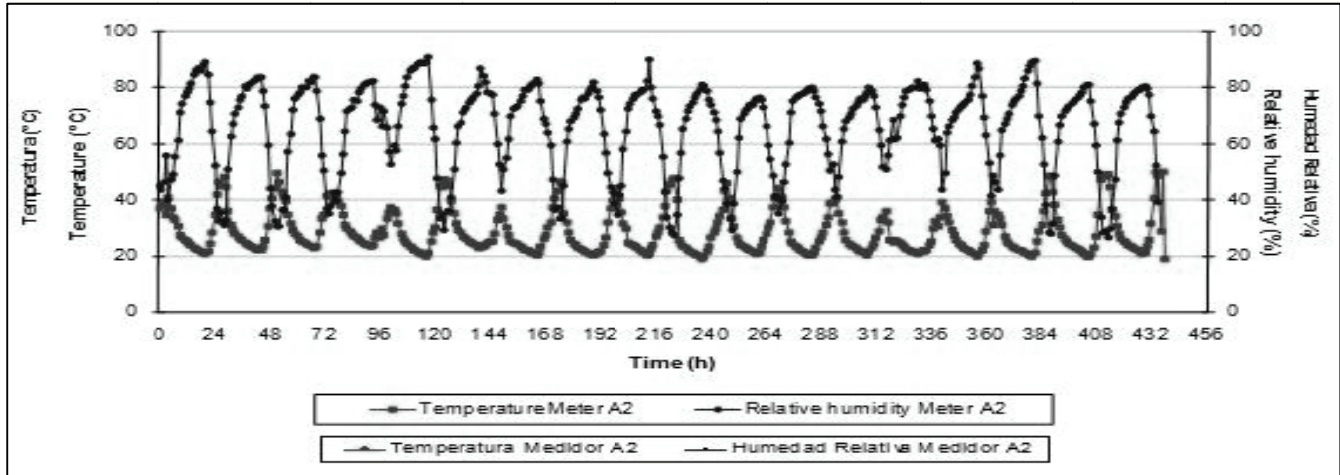


Figura 9. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura, en intervalos de 1 hora, durante el tiempo de permanencia del tabaco en la fosa para el medidor A2 del ensayo 4 del horno 1.

Figure 9. Relative humidity and temperature patterns at one hour intervals for the time spent by the tobacco leaf in the barn (meter A2, test 4, oven 1)

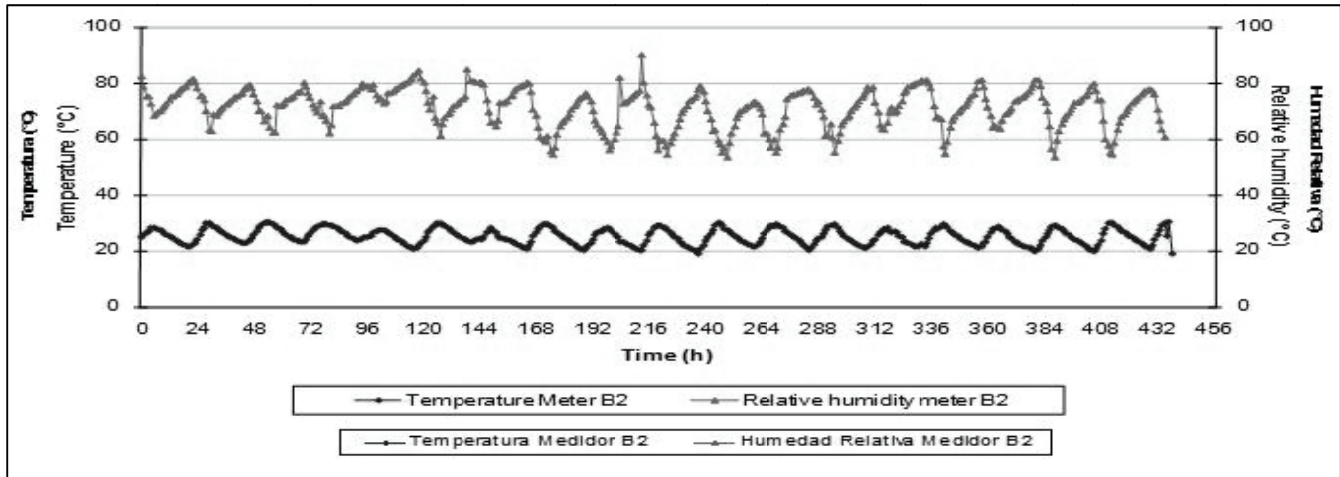


Figura 10. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura, en intervalos de 1 hora, durante el tiempo de permanencia del tabaco en fosa para el medidor B2 del ensayo 4 del horno 1.

Figure 10. Relative humidity and temperature patterns at one hour intervals during tobacco leaf retention time in the barn for meter B2 (test 4, oven 1)

Durante las pruebas preliminares el sistema de control se programó con un rango de 70% a 75% de humedad relativa, referenciado al medidor B2, en correspondencia con la información obtenida de la curva de humedad de equilibrio para tabaco tipo Virginia (North Carolina State University, 2007). Esta programación ocasionó que el tabaco que se encontraba por debajo de la línea de nebulizadores se sobrehumedeciera. Debido a esta situación se reprogramó el sistema con un rango de humedad relativa de 54% a 58%, referenciada al medidor B2, con lo que este efecto se redujo sustancialmente.

En la figura 11 se presenta el comportamiento de las condiciones ambientales de la fosa de tabaco, para 1 día, en intervalos de 5 minutos. Éstas tienen un comportamiento estable durante la mañana (desde las 0 a. m. hasta las 12:00 m.) y durante la noche (desde las 7 p. m. hasta las 12:00 p. m.) y una gran variación desde el mediodía hasta las 7 de la noche. En las horas cercanas al medio día se empieza a observar mayor variación en las condiciones ambientales registradas por los equipos de medición, presentándose valores de temperatura máxima de 47 °C y humedad relativa

The control system was programmed with a 70% to 75% relative humidity range (referenced to meter B2) during preliminary testing, corresponding to the information obtained from the Virginia Tobacco equilibrium moisture content curve (North Carolina State University, 2007). This schedule caused the leaves below the nebuliser line to become over-moistened. This effect became substantially reduced when the system was reprogrammed to have 54% to 58% relative humidity (referenced to meter B2).

Figure 11 presents the pattern of environmental conditions in the tobacco barn for a given day, at five minute intervals. Environmental conditions exhibited a stable pattern during the morning (0 am to noon) and night (from 7 pm to 12 pm) and large variation from noon until 7 at night. Greater variation in environmental conditions recorded by the measuring equipment was easy to note during the hours close to noon, having 47°C maximum

En español

In English

mínima de 31,6% por encima de la línea de nebulización, mientras que por debajo de la línea de nebulización se registra una temperatura máxima de 29,7 °C y una humedad relativa mínima de 52,9%. En la curva de humedad relativa, correspondiente a las lecturas del medidor B2, se presentan picos de humedad que indican el momento en el cual fue apagado el sistema o encendido de manera automática. Se nota claramente que en la zona de humidificación (medidor B2) la humedad relativa es más estable y se halla en un rango que permite la humectación de la hoja de tabaco hasta las condiciones requeridas para su clasificación, mientras que en la zona alta de la fosa en la que no hay humidificación (medidor A2) las condiciones de humedad relativa son muy bajas. El comportamiento encontrado en los ensayos restantes fue similar al presentado para el ensayo 4 del horno 1 y se puede consultar en el documento de Cerquera *et al.* (2007).

temperature and 31.6% minimum relative humidity above the nebuliser line. Below the nebuliser line there was 29.7°C maximum temperature and at least 52.9% relative humidity. Moisture peaks in the relative humidity curve for meter B2 readings indicated the moment when the system was turned on or off automatically. It was clear that relative humidity was more stable in the humidification area (meter B2) and came within a range allowing tobacco leaf moisturising in the conditions needed for classification while relative humidity was very low in the upper part of the barn where there was no humidification (meter A2). The pattern found in the remaining trials was similar to that reported for test 4 for oven 1 and the pertinent details can be found in an article by Cerquera *et al.*, (2007).

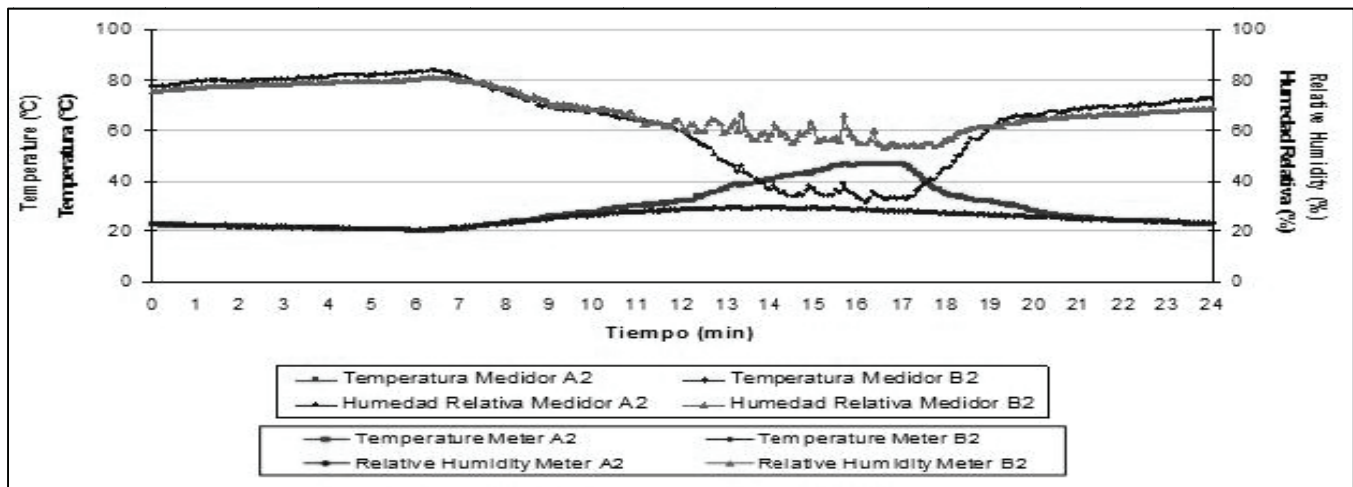


Figura 11. Comportamiento de las condiciones de humedad relativa y temperatura en intervalos de 5 minutos para un día del ensayo 4 del horno 1.
Figure 11. Relative humidity and temperature patterns at five minute intervals for a given day (trial 4, oven 1)

Tiempo de permanencia de la hoja de tabaco en la fosa: la tabla 4 permite observar la variación en el tiempo empleado (establecido por los propietarios del tabaco) para cada uno de los ensayos realizados. El de mayor duración fue el ensayo 4 del horno 1 (18 días), y el de menor duración el ensayo 1 del horno 1, que duró 2 días en fosa.

Con el sistema tradicional instalado en la fosa el tabaco es acondicionado en un lapso de 12 a 24 horas, después de lo cual se debe proceder a su clasificación; sin embargo, es habitual que esto no sea tenido en cuenta en el manejo tradicional, ya que la "fosa de tabaco" se utiliza para dos propósitos: acondicionar la humedad de la hoja de tabaco, y como lugar de almacenamiento prolongado. De acuerdo con las determinaciones de contenido de humedad realizadas a la hoja de tabaco con el sistema de nebulización en operación, se determinó que con humedades relativas entre el 55% y el 75% se alcanza el contenido de humedad requerido para su clasificación y posterior venta, en un lapso de 4 a 6 horas.

Análisis económico del efecto del contenido de humedad en la "fosa de tabaco". Es importante alcanzar la humedad comercial de la hoja de tabaco y mantenerla durante la clasificación para obtener el precio justo a la hora de la venta. Si la hoja se lleva a venta por debajo del 16% bh, recibe el mismo precio sin importar su contenido de humedad; si por el contrario, se lleva con un contenido de humedad superior, la hoja es rechazada y devuelta

Tobacco leaf retention time in the barn: Table 4 shows the variation in retention time (as established by the tobacco producers) for each of the tests performed, the longest being test 4 for oven 1 (18 days) and the shortest trial 1 for oven 1 which lasted two days in the barn.

Tobacco leaf becomes conditioned within 12-24 hours when a traditional system is installed in the barn (after that it must be classified), however, this is not usually considered in traditional management as the tobacco barn is used for two purposes: moisturising the tobacco leaf and as a prolonged storage area. It was determined that 55% to 75% relative humidity could be reached within 4-6 hours, according to leaf moisture content, with the nebulising system in operation, this being the moisture content required for classification and subsequent sale.

Economic analysis of the effect of moisture content in the tobacco barn. Tobacco leaf commercial moisture level must be reached and maintained during classification to ensure that the right price is obtained at the time of sale. If leaves are sold below 16% wb then they receive the same price regardless of moisture content; if they have higher moisture content, then leaves are rejected and

En español

al productor para que retire la humedad en exceso. En la tabla 5 se detalla la ganancia que se deja de recibir por vender la hoja curada con contenidos de humedad por debajo de la establecida. En promedio, el precio por tonelada de hoja de tabaco con un contenido de humedad del 16% bh es de \$4.882.500, por cada punto que se pierda de humedad se dejan de recibir \$58.125, debido a la pérdida de peso del producto.

Tabla 4. Tiempo de permanencia de la hoja de tabaco en la fosa para cada uno de los ensayos realizados.

Horno	Ensayo	Tiempo de permanencia	
		Horas	Días
0	1	130	5.4
	2	92	3.8
	3	312	13
	4	240	10
1	1	57	2.4
	2	213	8.9
	3	109	4.5
	4	435	18.1
2	1	95	4
	2	217	9
	3	161	6.7
	4	337	14
3	1	142	5.9
	2	387	16.1
	3	223	9.3
	4	147	6.1
4	1	188	7.8
	2	171	7.1
	3	336	14
	4	196	8.2
5	1	190	7.9
	2	140	5.8
	3	337	14
	4	364	15.2

In English

selling cured leaves having less than 16% wb moisture content. On average, the price per ton of leaf having 16% bh moisture content is \$ 4,882,500; the producer loses \$ 58,125 for each point of moisture below 16%, due to product weight loss.

Table 4. Tobacco leaf retention time for each test performed.

Oven	Trial	Retention time	
		Hours	Days
0	1	130	5.4
	2	92	3.8
	3	312	13
	4	240	10
1	1	57	2.4
	2	213	8.9
	3	109	4.5
	4	435	18.1
2	1	95	4
	2	217	9
	3	161	6.7
	4	337	14
3	1	142	5.9
	2	387	16.1
	3	223	9.3
	4	147	6.1
4	1	188	7.8
	2	171	7.1
	3	336	14
	4	196	8.2
5	1	190	7.9
	2	140	5.8
	3	337	14
	4	364	15.2

Tabla 5. Pérdidas económicas en venta por efecto de la humidificación deficiente.*

Contenido de humedad base húmeda (%)	Peso equivalente al 16% hhh (Ton)	Precio total al 16% hhh (\$)	Valor recibido por tonelada con la humedad de venta (\$)	Pérdida de utilidad por tonelada(\$)
16	1000	4.882.500	4.882.500	0
15	1012	4.940.625	4.882.500	58.125
14	1024	4.998.750	4.882.500	116.250
13	1036	5.056.875	4.882.500	174.375
12	1048	5.115.000	4.882.500	232.500

* Información obtenida de los productores de la zona de Garzón (Huila), año 2007; TRM: \$2.100, precio promedio por kg: \$4.883

Rediseños propuestos para el mejoramiento del sistema de humidificación por nebulización en la "fosa de tabaco". Con base en la experiencia obtenida durante la evaluación del sistema, se presentan dos nuevos diseños denominados "Cámara de humidificación y acondicionamiento de la hoja de tabaco USCO - MADR".

Table 5. Sales' losses due to poor moisturing *

Moisture content wb (%)	Weight equivalent to 16% wb (Ton)	Total price at 16% wb (Col\$)	Price per ton at the corresponding moisture content (\$)	Loss of profit per ton (Col\$)
16	1,000	4,882,500	4,882,500	0
15	1,012	4,940,625	4,882,500	58,125
14	1,024	4,998,750	4,882,500	116,250
13	1,036	5,056,875	4,882,500	174,375
12	1,048	5,115,000	4,882,500	232,500

* Information obtained from tobacco farmers in the Garzón, Huila, area, 2007, 1USD\$= Col\$ 2,100, average price per kg = \$ 4,883

Proposed redesign for improving the tobacco barn nebulising humidification system. Based on the experience gained when evaluating the system, two new designs called, "USCO-MARD tobacco leaf humidification and conditioning barn" were drawn up.

En español

Propuesta 1: Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C1. Consiste en dividir la cámara en sectores; cada uno corresponde a dos cajones, los cuales se pueden aislar del resto de la cámara con el uso de cortinas plásticas, creando recintos independientes dentro de ella. La operación selectiva permite que al humidificar un sector esto no afecte al resto del tabaco que se esté “almacenando” en la cámara. En cada sector, y con ayuda de válvulas y controles, se puede operar el sistema de manera independiente y automatizada para humidificar la hoja de tabaco. En las figuras 12 y 13 se despliegan los detalles del diseño de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C1”.

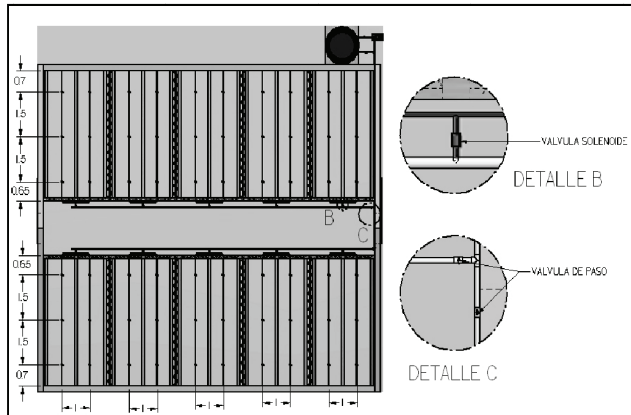


Figura 12. Distribución en planta de la “Cámara USCO – MADR, C1”

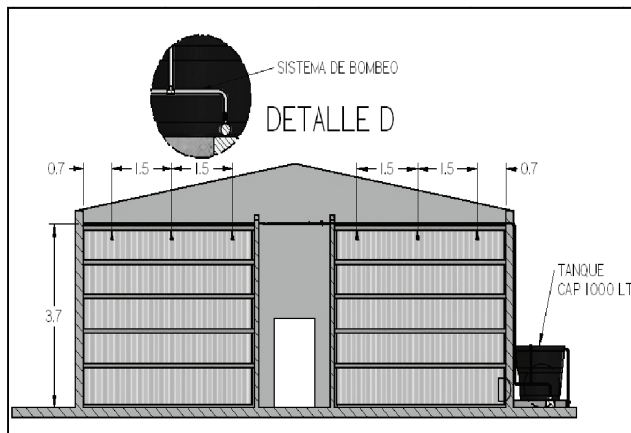


Figura 13. Corte transversal de la “Cámara USCO – MADR, C1”.

Propuesta 2: “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2”. En ésta cámara las zonas de almacenamiento y acondicionamiento de la hoja de tabaco están claramente definidas y físicamente separadas; una de ellas exclusivamente para el almacenamiento de la hoja curada, y la otra, donde se realiza la operación de humidificación de la hoja de tabaco, se instala el sistema de humidificación por nebulización, el cual opera automáticamente. A esta zona se traslada únicamente la hoja que va a ser humidificada, para ser llevada posteriormente a la sala de clasificación. En las figuras 14 y 15 se presentan los detalles del diseño de la “Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2”.

In English

Proposal 1: “Chamber of humidification and conditioning of tobacco leaf USCO - MADR, C1”. C1 consisted of dividing the barn into sectors, each corresponding to two bins which could be isolated from the rest of the barn by plastic curtains, thereby creating separate enclosures within the barn. Selective operation means that humidifying an area does not affect the rest of the leaves from such stock being kept in the barn. The system can operate independently and unattended for humidifying tobacco leaves in each sector with the help of valves and controls. Figures 12 and 13 give design details of the USCO-MADR C1 tobacco leaf humidification and conditioning barn.

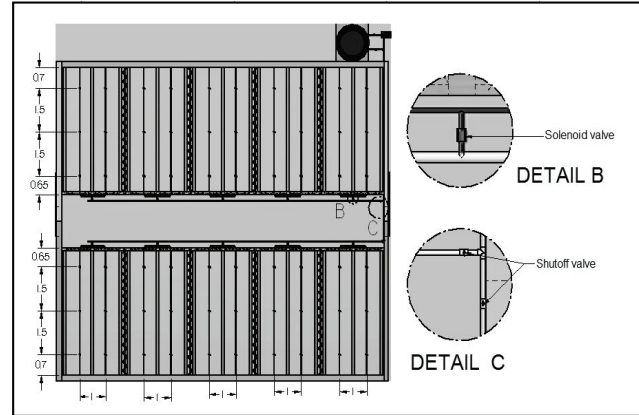


Figure 12. Layout of the USCO-MADR C1 barn

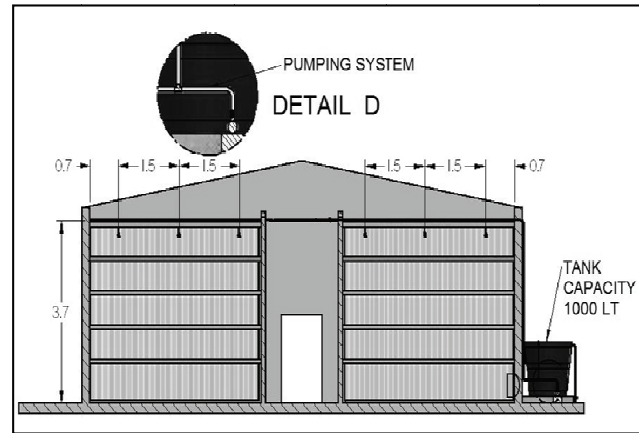


Figure 13. Cross-section of USCO-MADR C1 barn

Proposal 2: USCO-MADR C2 tobacco leaf humidification and conditioning barn. Tobacco leaf storage and packaging areas are clearly identified and physically separated, one of them exclusively for storing cured leaf and the other for tobacco leaf humidification. The latter is where the automatically operated mist humidification system was installed. Only leaves which will be humidified are moved to this area (to be taken to the classification area later on). Figures 14 and 15 give details of the USCO-MADR C2 tobacco leaf humidification and conditioning barn design.

En español

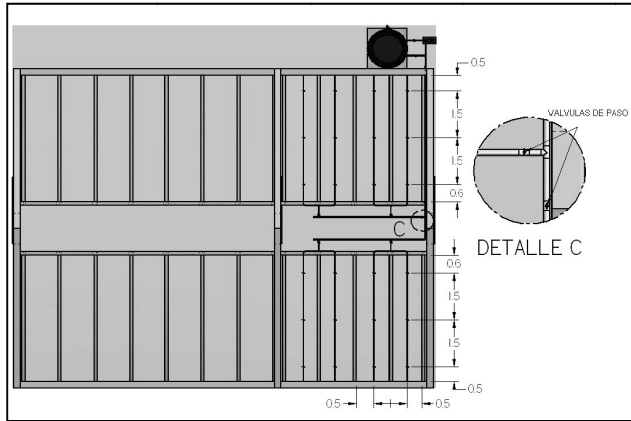


Figura 14. Distribución en planta de la "Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2".

In English

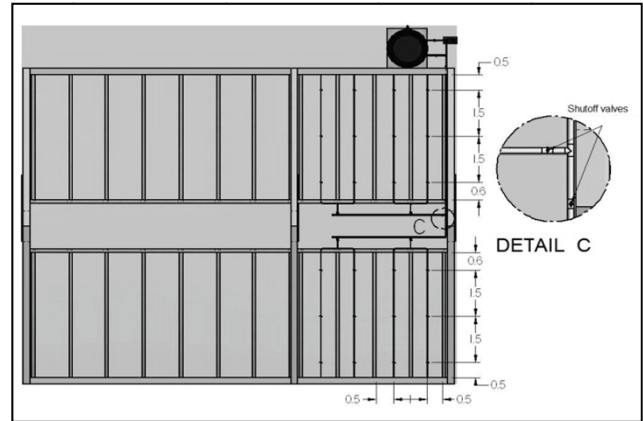


Figure 14. Layout of the USCO-MARD C2 tobacco leaf humidification and conditioning barn shown in Figure 15

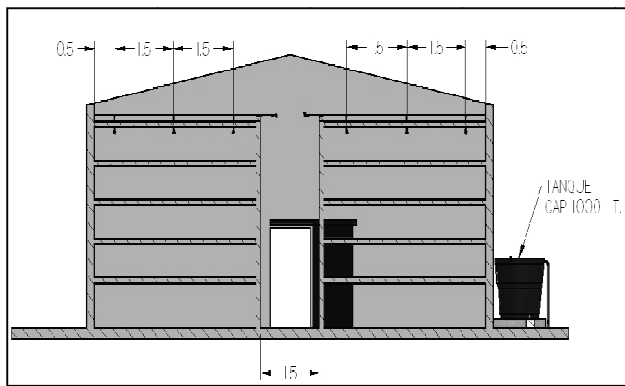


Figura 15. Corte transversal de la "Cámara de humidificación y acondicionamiento para hoja de tabaco USCO – MADR, C2".

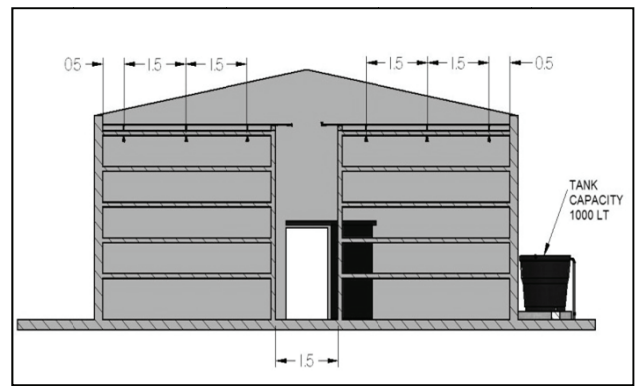


Figure 15. Cross-section of the USCO-MARD C2 tobacco leaf humidification and conditioning barn

Conclusiones

El recinto utilizado para la humidificación de la hoja de tabaco, tradicionalmente conocido como "fosa de tabaco", presenta múltiples inconvenientes por su concepción como instalación que cumple con dos propósitos simultáneos: almacenamiento y acondicionamiento de la humedad de la hoja. El almacenar la hoja de tabaco en la "fosa" por tiempos prolongados, además de incrementar las pérdidas de calidad, se convierte en un cuello de botella para el proceso de beneficio de la hoja.

El acondicionamiento de la humedad de la hoja de tabaco debe considerarse como una etapa de tránsito de la hoja hacia la sala de clasificación, esta operación se puede realizar directamente en el horno o en una instalación exclusivamente diseñada para este fin.

Con el sistema de humidificación por nebulización instalado dentro de la "fosa" se logró obtener humedades relativas aproximadamente constantes que permitieron alcanzar contenidos de humedad en la hoja de tabaco requeridos para su manipulación en la sala de clasificación. El tiempo empleado para alcanzar el contenido de humedad de la hoja de tabaco del 16% en base húmeda fue de 4 a 6 horas, con humedades relativas del ambiente entre el 55% y el 75%.

De acuerdo al coeficiente de uniformidad, el sistema de humidificación trabajó de forma adecuada, garantizando una distribución homogénea de la nube de agua en el ambiente.

Conclusions

The enclosure used for humidifying tobacco leaf, known traditionally as "tobacco barn", has many disadvantages because it is conceived as being a facility serving two simultaneous purposes: leaf storage and leaf moisture conditioning. Storing tobacco leaves in the barn for a long period of time increases the loss of quality and becomes a bottleneck for tobacco leaf post-harvesting.

Conditioning tobacco leaf moisture must be considered as being a transitional step for leaves coming to the classification area; this operation can be performed directly in the oven or in a facility exclusively designed for such purpose.

Relatively constant relative humidity could be maintained once the humidification by nebulisation system had been installed in the barn; this led to reaching the leaf moisture content required for handling in the classification area. The time taken to reach 16% (wb) tobacco leaf moisture content was 4-6 hours, with 55% to 75% environmental relative humidity

The humidification system worked properly according to the coefficient of uniformity, thereby ensuring a homogeneous distribution of mist in the environment.

Bibliografía / References

- Cerquera, N. E., Ruiz, Y. L., Carvajal, F., Evaluación del secado en los hornos tradicionales de curado de tabaco., Neiva, Marzo, 2006, pp. 87.
- Cerquera, N. E., Ruiz, Y. L., Adecuación y evaluación del horno tradicional de curado de tabaco utilizando un intercambiador de calor que emplea como combustible carbón mineral o cisco de café., Neiva, 2007, pp. 136.
- Cerquera, N. E., Carvajal, F., Diseño, implementación y evaluación de un sistema de humidificación por nebulización en la fosa de tabaco., Neiva, 2007, pp. 134.
- Cifuentes, M., Metodología para el diseño de sistemas de riego a presión., BSc Irrigation Engineering thesis, Engineering Faculty, Universidad Surcolombiana, Neiva, 2001, pp. 165.
- Gómez C., Pérez C., Diseño e implementación de un sistema telemétrico de medición y control para los riegos en un vivero., BSc Electronic Engineering thesis, Engineering Faculty, Universidad Surcolombiana, Neiva, 2006, pp. 80.
- Keller, J., Bliesner, R. D., Sprinkle and Trickle Irrigation., AVI Book, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- North Carolina State University., Flue-cured postharvest and system efficiency guidelines [Online]., North Carolina: Philip Morris USA Leaf Department, Consulted 20th February 2007 in: <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/postharv/grant/P&SE%206-23%20fix.pdf>
- Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists., (A.O.A.C.), 11th ed, Washington D.C., v.1, 1998, pp. 28.
- Perea, J., Salinas, F., Torrente, A., Guía práctica de parámetros de riego por aspersión., Universidad Surcolombiana, Neiva. 1998, pp. 52.
- Protabaco S.A., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural., Diseño de hornos modulares para el curado de tabaco Virginia y construcción de un prototipo para realizar pruebas de eficiencia., Convenio 058-04, November 15, 2005, pp. 3-4.
- Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, regional Santander., Proceso productivo del tabaco rubio y/o negro para la fabricación de cigarrillos [CD ROM]., Modulo 4: Proceso de curado, 2005.