



Respuesta de temperatura y humedad relativa en el proceso de curación y secado de tabaco Burley, San Gil, Santander, Colombia

Temperature and humidity response in the curing and drying process for Burley tobacco, San Gil, Santander, Colombia

Resposta da temperatura e umidade relativa no processo de cura e secagem do tabaco burley, San Gil, Santander, Colombia

Edilson Daniel Gómez-Herrera¹

Milton J. Muñoz-Neira²

Luis Alfonso Peñaranda³

Fecha de recepción: noviembre 2016

Fecha de aceptación: septiembre 2016

Para citar este artículo: Gómez-Herrera, E.D, Muñoz-Neira, M.J, Peñaranda, L.A. (2017). Respuesta de temperatura y humedad relativa en el proceso de curación y secado de tabaco Burley, San Gil, Santander, Colombia. *Revista Científica*, 28 (1), 72-83. **Doi:** [10.14483/udistrital.jour.RC.2016.28.a6](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.28.a6)

Resumen

Este documento presenta el desarrollo metodológico empleado y los resultados obtenidos en la caracterización e implementación de un sistema de control y automatización para una cámara de curación y secado de tabaco Burley. Esto se realizó con el propósito de analizar sus tres etapas: amarillamiento, fijación de color y secado.

En primer lugar se da a conocer el proceso que se debe tener en cuenta para curación de tabaco Burley en caney, al aire libre. En segundo lugar se hace el análisis del sistema de calefacción y humidificación, con el fin de seleccionar el más adecuado, que permita mantener condiciones ideales para la curación y secado del Burley. Finalmente se presenta el análisis de los resultados, mediante exposición de figuras y tablas.

Palabras Clave: Burley, curación, control On/Off, PID, secado.

Abstract

This paper present the methodology development used for characterization and implementation of a control and automation of a camera for curing and drying of Burley tobacco, done with the purpose of analyzing its three stages: yellowing, color fixing and drying.

As first step, the paper gives to know the process that is important for air curing of Burley tobacco. As second step, analysis of heating and humidification of system is presented, for determinate the most adequate control system for maintenance the ideal conditions for curing and drying of Burley. Results are presented through figures and tables.

Keywords: Burley, Curing, Control ON/OFF, PID, Drying.

^{1.} Fundación Universitaria de San Gil, Santander, Colombia. Contacto: danielgomez@unisangil.edu.co

^{2.} Fundación Universitaria de San Gil, Santander, Colombia. Contacto: mmunoz@unisangil.edu.co

^{3.} British American Tobacco, San Gil, Santander, Colombia. Contacto: apenaranda7577@gmail.com

Resumo

Este documento apresenta o desenvolvimento metodológico utilizado e os resultados obtidos na caracterização e implantação do sistema de controle e automação de uma câmara para cura e secado de tabaco Burley, com a finalidade de analisar as três fases que são amarelamento, fixação da cor e finalmente a secagem da folha e o talo. Na primeira parte do trabalho é apresentado o processo de cura da folha de tabaco tipo Burley no ar livre. Na segunda parte é feito o análises do sistema de calefação e umidificação, para implementar a regulação mais adequada que permita manter as condições ideais para curar e secagem do tabaco Burley. Finalmente é apresentado o relatório com os resultados usando gráficas e tabelas.

Palavras chave: Cura de tabaco, secagem, controle, PID, Burley.

Introducción

El curado adecuado del tabaco Burley, depende del entorno apropiado que tengan las instalaciones construidas para tal fin (Duncan, Wells, & Wilhoit, 2008). Sin embargo, los fenómenos climáticos afectan directamente la calidad del tabaco Burley curado. Cada año hay periodos de curado buenos y malos, y, en general, la calidad del tabaco curado al aire depende principalmente del clima de cada región o país, entre otros factores. En Colombia, el cambio climático de las regiones en donde se cultiva y se cura este tipo de tabaco, ha traído como consecuencia el problema de no lograrse un buen curado. Lo anterior ocasiona a su vez que en el tabaco se dé el fenómeno de diversas tonalidades en el envés de las hojas, posiblemente por falta de humedad en el proceso de curación. Esto conlleva a plantear la siguiente pregunta: ¿Es posible crear un sistema artificial en donde se pueda controlar la curación y secado del Burley manteniendo su calidad? Contestar la pregunta fue difícil para el investigador, pues por generaciones se ha curado este tipo de tabaco al aire sin un sistema controlado. Al indagar sobre proyectos realizados anteriormente, se encuentra que en su mayoría estos van dirigidos a la curación y secado

de tabaco Negro. Un ejemplo de estos proyectos fue el desarrollado por el Grupo de Investigación y Aplicaciones Tecnológicas en Procesos Agroindustriales – **GIATPA** - junto con COLCIENCIAS y el apoyo de [UNISANGIL](#), quien desarrolló un prototipo de Cámara Fermentadora para este tabaco (Barajas, 2007). Dicha cámara fue utilizada para este proyecto y adecuada para realizar las pruebas de curación y secado del Burley.

Partiendo de la cámara ya construida, se decidió hacer tres tipos de prueba sobre el sistema. La primera consistió en la curación y secado del Burley ensartado por hoja; la segunda radicó en la curación y secado del Burley ensartado por mata, y, por último, se realizó el proceso de curación y secado con apoyo de un sistema de control. Para lograr el cometido se determinaron y realizaron los ajustes eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento de la cámara, así como el rediseño de un sistema electrónico para la automatización y control de la humedad al interior de la misma.

El proyecto fue estructurado en tres etapas. La primera consistió en las pruebas de los procesos de curación y secado de Burley anteriormente mencionadas, de las cuales se observó el proceso de amarillamiento, fijación de color y secado de las hojas de tabaco; de este se obtuvo un registro fotográfico de todas las pruebas ejecutadas. La segunda etapa describe el análisis de los datos obtenidos en las diferentes pruebas realizadas. La etapa tres describe los diferentes tipos de control realizados para la curación y secado del Burley y los dispositivos empleados para el desarrollo del control.

Los datos obtenidos en las distintas pruebas son muy prometedores, y muestran cómo el uso de la cámara bajo condiciones controladas disminuye los tiempos de curación y secado, al tiempo que mantiene su calidad. Los resultados logrados evidencian el cumplimiento del objetivo general planteado para la investigación, el cual fue la caracterización de la respuesta de temperatura y humedad relativa de un recinto cerrado empleado en la curación y secado de tabaco Burley; y de los objetivos específicos, los cuales puntualizaban la evaluación del

recinto cerrado respecto a la flexibilidad de controlar temperatura y humedad relativa para el proceso de curación y secado de tabaco Burley, y la identificación del tipo de control requerido en la curación y secado de este tipo de tabaco, con el fin de mantener unas condiciones apropiadas de humedad relativa y temperatura, mediante prueba manual de proceso, recolección de datos de temperatura y humedad, y registro fotográfico del mismo.

Metodología

El proyecto se desarrolló de acuerdo al esquema metodológico de la figura 1.



Figura 1. Diagrama Metodológico.

Fuente: elaboración propia.

Procesos de curación y secado de tabaco burley

Inicialmente, para el control se usaron como referencias los parámetros referidos por (Jeffrey, 1940): temperatura entre 18°C y 32 °C, humedad relativa (RH) entre 50% y 70%, y flujo de aire en 15 ft/min. En las tres pruebas realizadas (curación y secado de Burley por hoja sin sistema de control, curación y secado de Burley ensartado en mata, y secado de tabaco Burley por hoja con sistema controlado por PLC Siemens, Simatic 200 (SIEMENS, 2007)), se tuvieron en cuenta lo siguientes estados:

1. **Amarillamiento:** En esta etapa, (que duró aproximadamente 10 días), se buscó la desaparición del color verde y la aparición de color amarillo en cada hoja; asimismo se tuvo en cuenta que la humedad se mantuviese entre el 70% y el 90%.
2. **Fijación de color:** Este proceso buscó detener la actividad bioquímica y enzimática mediante la remoción de humedad, para lograr la fijación de color. En esta etapa el tabaco cambia de color amarillo a dorado.
3. **Secado:** En esta etapa se buscó preservar la hoja mediante un secado completo (estado de muerte por desecación de la lámina y la nervadura).

El tabaco de tipo Burley utilizado para este proyecto provino de los cultivos sembrados por el señor Johanny Rodríguez, de la vereda Montecitos del municipio de San Gil, Santander, Colombia (ubicación GPS 6°36'04.9"N 73°06'59.0"W), en diciembre del 2014 para las pruebas 1 y 2, y en Abril del 2015 para la prueba 3. Estos tabacos tenían diferentes composiciones bioquímicas debido a la diferencia hídrica y climática con la que fueron sembrados. En efecto, el primer tabaco mantuvo un color más amarillo, debido a la falta de agua; el cultivador mantuvo este cultivo con un sistema de goteo de agua. El tabaco que se utilizó en la tercera prueba fue tabaco de la primera recolección de año, siendo este un tabaco con mejores condiciones. En la figura 2 y 3, se puede apreciar parte del cultivo de tabaco utilizado en este proyecto.



Figura 2. Cultivo de tabaco Burley con sistema de goteo de agua sembrado en Diciembre del 2014 por el Sr. Johanny Rodríguez vereda Montecitos, San Gil, Santander, Colombia.

Fuente: Los autores.



Figura 3. Cultivo de tabaco Burley sembrado en Abril del 2015 por el Sr. Johanny Rodríguez vereda Montecitos, San Gil, Santander, Colombia.

Fuente: Los autores.

La forma de preparación del tabaco para su ensarte, se realizó del siguiente modo: se extrajo del cultivo para el proyecto seis sargas de tabaco para las tres pruebas, que luego fueron transportadas al sitio en donde se encuentra la cámara de curación y secado (ubicación GPS 6°32'21"N 73°07'34.5"W), a una altura aproximada de 1137msnm. Después de llegar al sitio se pesó el tabaco extraído para el proyecto, y luego se dividió en cuatro sargas de igual tamaño, con el fin de colgarlo en la cámara de curación y secado.

A continuación se muestran los registros fotográficos de las tres pruebas realizadas figuras 4,5, 6 y7.

Prueba 1. Curación y secado de Burley por hoja.

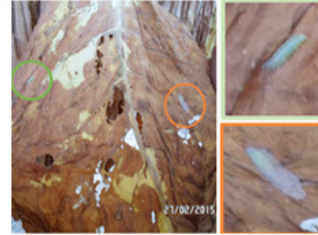


Figura 4. Prueba 1 curación y secado de tabaco Burley ensartado por hoja.

Fuente: Los autores.



Plagas encontradas en cámara de curación y secado



Daño en hojas de tabaco burley causado por gusano el caney

Figura 5. Plaga encontrada en las hojas de tabaco Burley en caney y en cámara de curación y secado.

Fuente: Los autores.

Prueba 2. Curación y secado de Burley ensartado en mata.

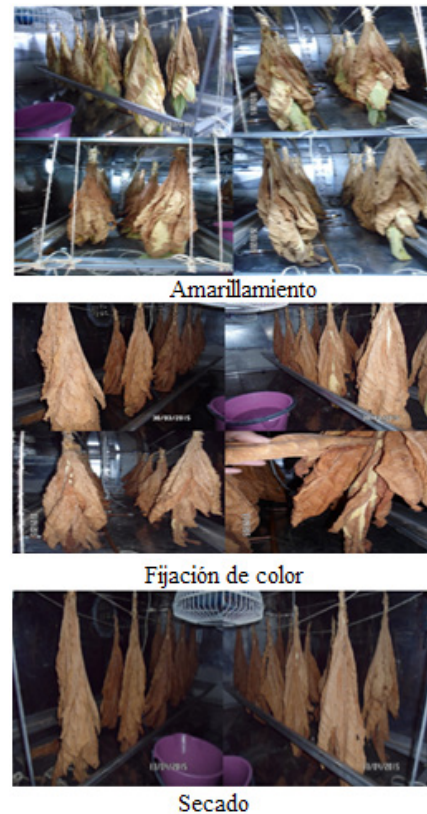


Figura 6. Prueba 2 curación y secado de tabaco Burley ensartado por mata.

Fuente: Los autores.

Prueba 3. Curación y secado de tabaco Burley por hoja con sistema controlado por PLC.

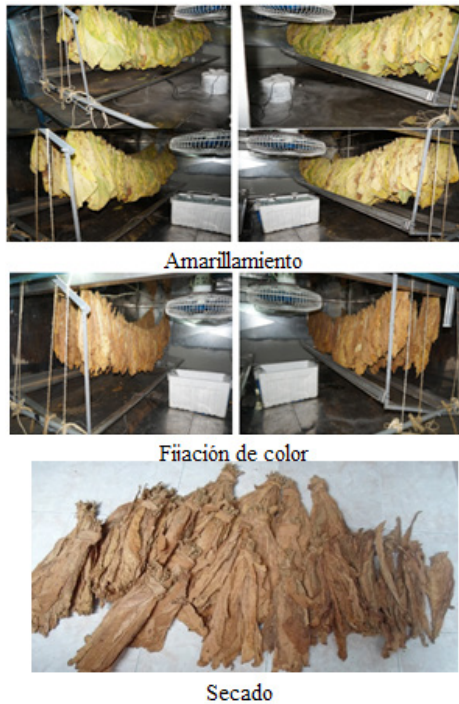


Figura 7. Prueba 3 - Curación y secado de tabaco Burley ensartado por hoja.

Fuente: Los autores.

Instrumentación Empleada

Las variables del sistema de control fueron las siguientes:

Tabla 1. Variables sistema de control.

| Variables de Proceso (PVs) | Humedad relativa de la cámara Temperatura de la cámara. Encendido y Apagado de resistencias de calor (2000 W) |
|----------------------------|---|
| Variables de Manipulación | Encendido y Apagado de sistema de humidificación por ultrasonido Inyector de aire Extractor de aire |

Fuente: Elaboración propia

Tanto para el registro, y medición de las variables de proceso (humedad y temperatura), como para la

manipulación de las variables de control, se hizo uso de la instrumentación detallada a continuación.

Tabla 2. Dispositivos utilizados para la adquisición y manipulación de señales.

| Nombre | Descripción |
|-------------------|---|
| RHT10 | Registrador de datos USB de temperatura y humedad relativa de la empresa EXTECH. Este dispositivo registra hasta 16.000 lecturas para cada parámetro con frecuencia de muestreo de datos seleccionable. Este dispositivo fue empleado como patrón secundario para el registro de los datos. |
| Simatic 200 | PLC siemens, empleado para implementar los algoritmos de control diseñados. |
| Termocupla tipo K | Sensor empleado para la medición de temperatura en la cámara. |
| HIH-4000-002 | Sensor de humedad relativa capacitivo de referencia Honeywell, que entrega un voltaje analógico proporcional al porcentaje de humedad, empleado para la medición de humedad relativa en la cámara. |

Fuente: Elaboración propia.

Las variables de proceso y de manipulación, fueron conectadas al PLC, según lo indica la siguiente tabla:

Tabla 3. Entrada y salida al PLC.

| Salidas Digitales PLC S7 200 | Entradas Análogas PLC S7 200 |
|------------------------------|------------------------------|
| Humificador 1 Q0.2 | Termocupla AIW4 |
| Humificador 2 Q0.3 | Sensor RH AIW0 |
| Inyector de aire Q0.4 | |
| Resistencia Fondo Q0.6 | |
| Resistencia Frontal Q0.7 | |
| Extractor Q1.1 | |
| Ventiladores Q1.0 | |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de datos

El proceso de curación y secado del tabaco Burley es función del ciclo circadiano al que están sometidas las hojas. Sin embargo, la curación y secado en caney adolece de control sobre dicho ciclo. Así, durante la primera parte del proceso (el

amarillamiento) si el ciclo circadiano posee extremos en RH y temperatura, (por ejemplo, humedades relativas superiores al 90% y temperaturas inferiores a los 18°), la hoja tenderá a acelerar su secado y a no tener una buena degradación de los cloroplastos, lo que a su vez conllevará a que se fijen colores verdosos en la hoja, efecto que deteriora la calidad del tabaco Burley. Por su parte, durante las otras etapas del proceso: fijación de color y secado, los extremos en el ciclo circadiano pueden conllevar a una mala degradación de los azúcares en la hoja, efecto que es fatal para el Burley, tabaco que por estándar de calidad no puede contener azúcar una vez finalizado el proceso.

Los experimentos realizados permitieron evidenciar cómo los ciclos circadianos son más pronunciados en el caney que en el recinto cerrado bajo control, lo cual hace que en horas críticas de la mañana (7 a.m. a 8 a.m., con RH alto y temperatura baja), y de la tarde (2 p.m. a 3 p.m., con RH bajo y temperaturas altas), el recinto cerrado permita, de manera general, no empeorar y regular en mejor modo el proceso de curación y secado del Burley respecto al proceso llevado en caney. Químicamente esto significa que el proceso de oxidación de la hoja de tabaco, y el paso de los disacáridos y los polisacáridos en azúcares simples, de las proteínas en aminoácidos y de las pectinas en moléculas más pequeñas, se ve favorecido por ciclos circadianos controlados en el proceso de curación y secado del Burley.

A continuación, se analizan los datos recolectados en las tres pruebas realizadas en la cámara de curación y secado, que permiten dar cuenta de las condiciones de RH y temperatura en el recinto cerrado durante las diversas etapas del proceso.

Análisis de datos prueba 1: Curación y Secado de Tabaco Burley por hoja sin sistema de control

En el proceso de curación y secado por hoja sin sistema de control, desde su inicio el día 27/02/2015 hasta el 09/3/2015, no se realizó ninguna acción de control, con el fin de evaluar el comportamiento del

tabaco en sus etapas de curación y secado respecto al cambio de temperatura y RH dentro de un recinto cerrado. Esta falta de control se pudo apreciar en las temperaturas y RH oscilantes en el interior de la cámara que muestra la Figura 8. Físicamente es verificable que la RH es inversamente proporcional a la temperatura: a mayor temperatura menor RH. De igual forma, los picos más altos registrados de temperatura al interior de la cámara (44 °C) y de menor humedad al interior de la misma (23 %) se dan desde las 14.00 a las 15.00 horas UTC -5 (siendo UTC la hora común a todo el planeta e independiente de la zona horaria, y (-5) lo que se resta en horas a la hora UTC para obtener la hora en Colombia); la mayor humedad al interior de la cámara (84%) y menor temperatura al interior de la cámara (19°C) se dan desde las 07.00 a las 08.00 horas UTC -5, en razón a que estos parámetros varían de acuerdo al clima en donde se realice el proceso.

Después del 07/03/2015, con el propósito de acelerar el secado de la hoja de tabaco, se prendieron dos resistencias térmicas con una potencia de 2000 vatios cada una; inmediatamente activado el sistema térmico, la temperatura empezó a aumentar y el RH empezó a disminuir por debajo del 40%, tal como se esperaba; este cambio se puede apreciar en la Figura 8.

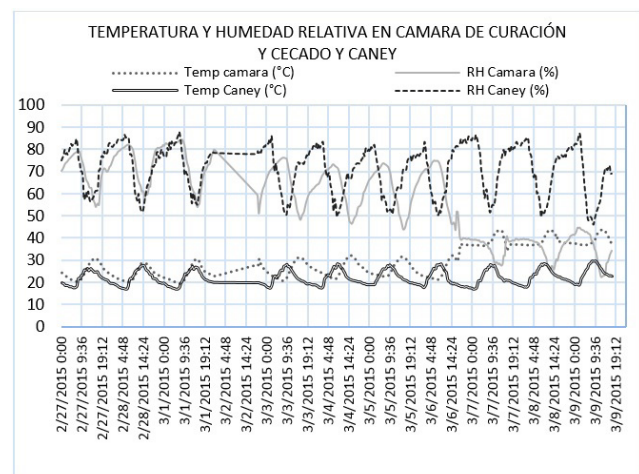


Figura 8. Datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en prueba 1 de curación y secado de tabaco Burley en el caney y cámara.

Fuente: Los autores.

De los datos obtenidos se analizaron 400 registros en la cámara de curación y secado y 400 registros en el caney. El rango de datos analizados fue desde 27/02/2015 hasta 09/03/2015, con una tasa de muestreo de 30 minutos, siendo esta adecuada porque en este lapso el tabaco no se ve afectado por variaciones de temperatura o RH.

Estos datos se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 4. Tabla de datos obtenida durante la curación y secado de tabaco Burley ensartado por hoja sin sistema de control.

| Desde | 27/02/2015 - 09/03/2015 | |
|---------------------------------|-------------------------|--------------|
| | Cámara | caney |
| Max RH | 84 | 88 |
| Min RH | 23 | 41,3 |
| Pro Rh | 58 | 70 |
| Moda RH | 39,4 | 80,6 |
| Cant. Horas RH>70% | 96:42:36 | 149:30:00 |
| Cant. Horas RH 50%-70% | 76:30:00 | 96:00:00 |
| Cant. Horas RH <50% | 84:00:00 | 7:30:00 |
| Total Horas | 257:12:36 | 253:00:00 |
| Max Temp | 44 | 30 |
| Min Temp | 19 | 17 |
| Pro Temp | 29 | 22 |
| Moda | 36,9 | 19 |
| Cant Horas Temp >32°C | 72:00:00 | 0:00:00 |
| Cant Horas Temp 23°C-32°C | 182:12:36 | 171:30:00 |
| Cant Horas Temp < 23°C | 3:00:00 | 81:30:00 |
| Total Horas | 257:12:36 | 253:00:00 |

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar cada proceso se registró el peso de las hojas de tabaco, con el fin de relacionar la cantidad de masa y humedad que se perdieron durante el mismo. En la tabla 5 se muestran los datos de masa obtenidos en la prueba 1. De esta información se pudo concluir que al finalizar el proceso de amarillamiento, la hoja perdió el 64% de su masa inicial; además, al finalizar el secado de la hoja, este tuvo una pérdida de masa de aproximadamente 82%, esto es, una pérdida de 9kg, para una masa final de 2kg.

Tabla 5. Registro de masa del tabaco Burley Prueba 1.

| Masa del tabaco en proceso de curación y secado – Prueba 1 | | |
|--|-------|------------|
| Proceso | Masa | Fecha |
| Amarillamiento | 11 kg | 20/02/2015 |
| Fijación de color | 4kg | 24/02/2015 |
| Secado | 2kg | 09/03/2015 |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de datos prueba 2: Curación y secado de Burley ensartado en mata

Para este proceso se trató de mantener una temperatura constante de 26.6 °C con una tolerancia de +10%. Aunque no se logró mantener la temperatura en la referencia fijada, debido al control básico de prendido y apagado de las resistencias, se pudo analizar el comportamiento del tabaco en sus diferentes etapas de curación y secado respecto al cambio de temperatura y RH. Por medio del RTH10 se recolectó la información de temperatura y RH, de la que fueron registrados 1536 datos en la cámara de curación y secado, y 1536 datos en el caney. El rango de datos analizados fue desde el 14/03/2015 hasta el 13/03/2015.

En la Figura 9, se analiza y compara la temperatura y RH en el caney y en la cámara de curación y secado; en esta gráfica se puede apreciar que en el interior de la cámara la temperatura posee sobre picos controlados y se alcanza un mínimo de 21,5°C, debido al control on/off realizado en el PLC sobre las resistencias térmicas, a diferencia de la temperatura en el caney que es totalmente oscilante.

De los datos obtenidos en el proceso de curación y secado por mata, se puede indicar que la temperatura siempre fue más alta en la cámara de curación y secado, (35,6°C-21,5°C) que en el caney (28,9°C-16,4°C); de igual forma, la RH es más alta en el caney (91,4%-44,8%) que en la cámara de curación (86,9%-36,2%). Los resultados de esta fase son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 6. Análisis de datos obtenido durante la curación y secado de tabaco Burley ensartado por mata.

| Desde 14/03/2015 hasta 13/04/2015 | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|
| | CÁMARA | CANEY |
| Max RH | 86,9 | 91,4 |
| Min RH | 36,2 | 44,8 |
| Pro RH | 59,8 | 75,2 |
| Moda RH | 64,7 | 82,8 |
| Cant. Horas RH>70% | 37:00:00 | 548:00:00 |
| Cant. Horas RH 50%-70% | 178:00:00 | 78:00:00 |
| Cant. Horas RH <50% | 552:30:00 | 21:30:00 |
| Total Horas | 767:30:00 | 767:30:00 |
| Max Temp | 35,6 | 28,9 |
| Min Temp | 21,5 | 16,4 |
| Pro Temp | 28,7 | 21,5 |
| Moda Temp | 26,9 | 19,5 |
| Cant Horas Temp >32°C | 130:30:00 | 00:00:00 |
| Cant Horas Temp 23°C-32°C | 620:00:00 | 232:30:00 |
| Cant Horas Temp < 23°C | 17:00:00 | 535:00:00 |
| Total Horas | 767:30:00 | 767:30:00 |

Fuente: Elaboración propia.

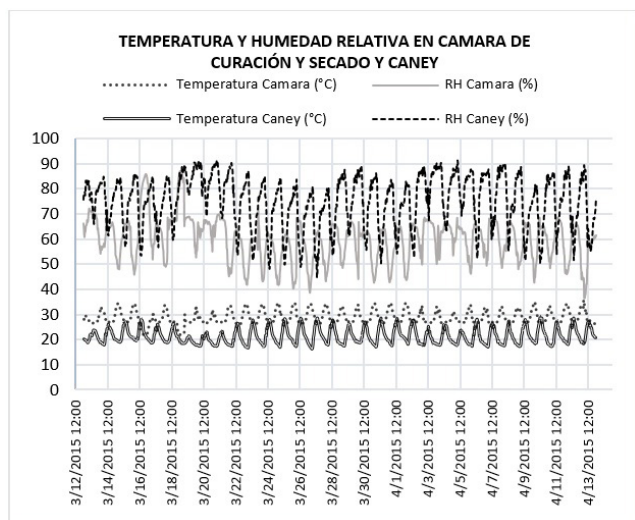


Figura 9. Datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en prueba 2 de curación y secado de tabaco Burley en el caney y cámara.

Fuente: Los autores.

Las masas del tabaco en esta fase, son mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 7. Registro de masa del tabaco Burley - Prueba 2.

| Masa del tabaco en proceso de curación y secado | | |
|---|-------|------------|
| Proceso | Masa | Fecha |
| Amarillamiento | 13 kg | 12/03/2015 |
| Secado | 3kg | 13/04/2015 |

Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos prueba 3: Secado de tabaco Burley por hoja con sistema controlado por PLC

Control on/off

Inicialmente se escogió este método para analizar en conjunto el funcionamiento de los diferentes dispositivos conectados para el control, que son: las resistencias, los humidificadores, el inyector de aire, el extractor, la termocupla y el sensor de RH. El algoritmo diseñado se especifica en la figura 10.

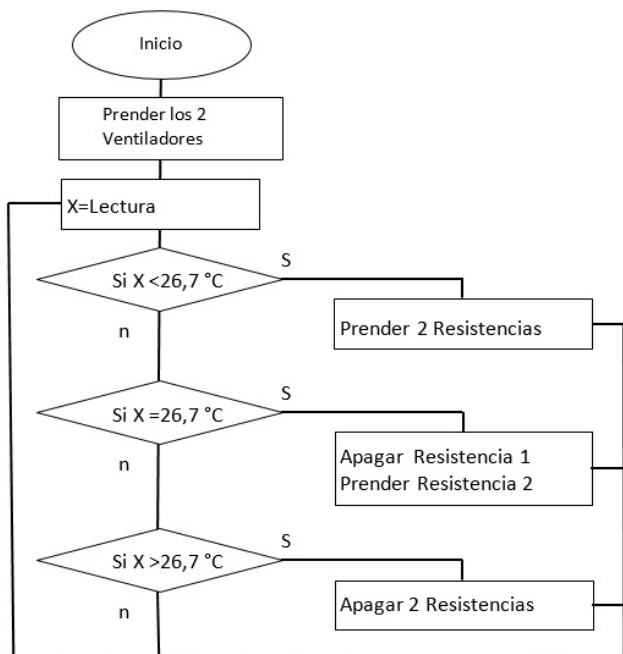
El primer paso para este programa fue diseñar el diagrama de control de las resistencias térmicas (figura 10); el control realizado consistió en mantener la temperatura regulada con histéresis del $\pm 10\%$. El segundo paso fue replicar el control hecho a las resistencias y aplicarlo a los humidificadores

Datos obtenidos con controlador On-Off

Según se refirió, esta prueba consistió en regular la temperatura, y en mantener la RH por encima del 80%; esto se puede apreciar en la figura 11 en donde se ve cómo en los días 21 y 22 de junio de 2015 la RH se mantuvo en este parámetro, permitiendo mantener viva la hoja de tabaco durante el proceso de amarillamiento, y dando uniformidad de color a la hoja del Burley.

Durante el resto del proceso de curación y secado se disminuyó gradualmente el RH, lo que permitió que la hoja en su proceso bioquímico degradará la mayor cantidad de azúcares, lo cual se evidenció con la adquisición por parte de la hoja de un color marrón; posterior a este paso vino el secado de la hoja. Este proceso se realizó durante siete días. Ver figura No. 11.

Figura 10. Diagrama de flujo control On/Off



Fuente: Elaboración propia.

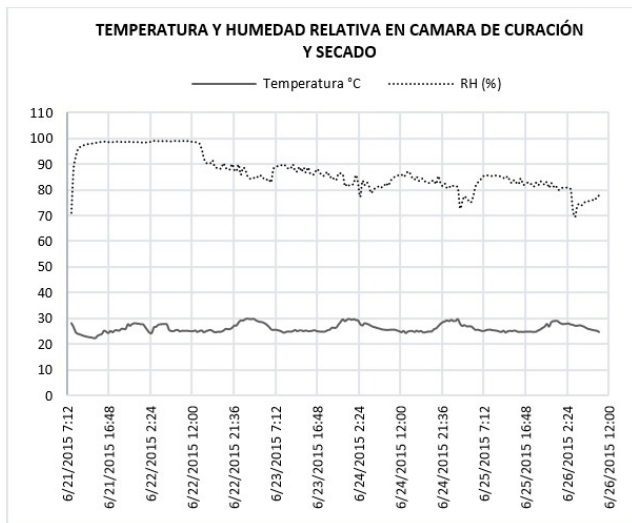


Figura 11. Datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en prueba 3 de curación y secado de tabaco Burley con controlador On-Off.

Fuente: Los autores.

Al término del séptimo día, (27 de junio de 2015) se descargaron los datos obtenidos del datalogger RTH10; a partir de esta información se

reajustó el punto de estabilización de la temperatura. En el día 12, (2 de julio de 2015) se pudo apreciar la estabilización de la temperatura en 26°C con oscilaciones de +3°C cada día, como se observa en la figura 12.

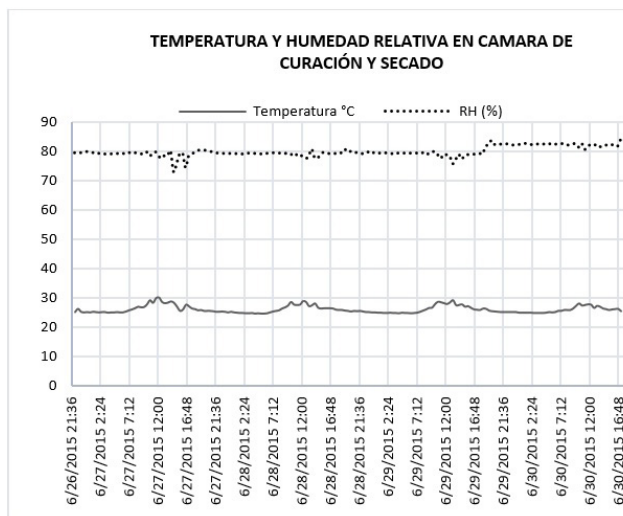


Figura 12. Datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en prueba 3 en proceso curación y secado de tabaco Burley - Reajuste control On/Off.

Fuente: Los autores.

Del control On/Off realizado se puede decir que:

- El tiempo de ascenso (T_r) fue de: 3:30 horas
- El máximo sobrepaso (O_v) fue de: 20%, y que las oscilaciones se repiten cada 24 horas.

Control PID

Para este control se tomó la respuesta al escalón de la temperatura en el interior de la cámara de curación y secado, a fin de obtener un modelo de proceso que permitiese una sintonización básica del controlador PID para la variable temperatura. Se registraron un total de 2139 datos, con una tasa de muestreo de 2s. Ver figuras 12 y 13.

En Matlab - Simulink se sintonizó el controlador PID por el método de Åström, y se verificó la operatividad de dicho control. El algoritmo PID fue programado en un PLC Simatic 200.

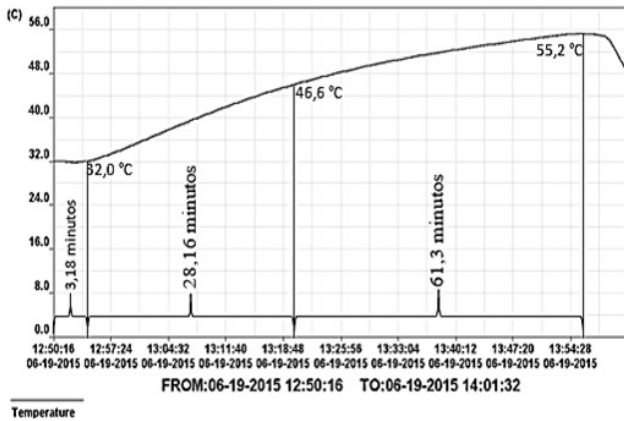


Figura 12. Datos Curva de temperatura en cámara de curación y secado.

Fuente: Los autores.

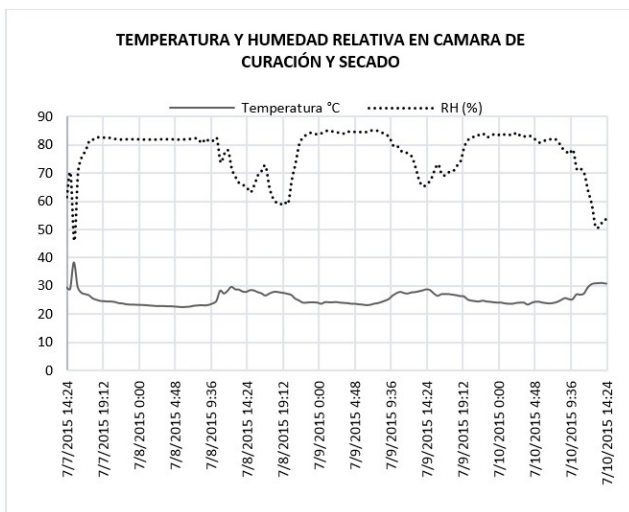


Figura 13. Datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en prueba 3 de curación y secado de tabaco Burley con controlador PID.

Fuente: Los autores.

La gráfica anterior muestra el comportamiento de la temperatura y la RH en un sistema controlado por un PID. Se puede observar que el sistema tuvo un sobrepaso inicial, antes de llegar a estabilizar el sistema, de 67%, en 1'30"; pasado este tiempo el sistema logra estabilizarse teniendo oscilaciones diarias aproximadamente a medio día con sobrepasos del 29%.

Síntesis de datos con control ON/OFF y PID.

La siguiente tabla sintetiza los resultados obtenidos en la curación y secado del tabaco Burley ensartado por hoja y con sistema de control (ON/OFF primero, y PID después).

Tabla 8. Tabla de datos obtenidos durante la curación y secado de tabaco Burley ensartado por hoja con sistema de control.

| Desde 21/06/2015 hasta 10/07/2015 | |
|-----------------------------------|-----------|
| CÁMARA | |
| Max RH | 99,1 |
| Min RH | 24 |
| Pro RH | 77,6 |
| Moda RH | 79,3 |
| Cant. Horas RH>70% | 376:40:29 |
| Cant. Horas RH 50%-70% | 26:30:00 |
| Cant. Horas RH <50% | 62:30:00 |
| Total Horas | 465:40:29 |
| Max Temp | 50,2 |
| Min Temp | 22,4 |
| Pro Temp | 26,8 |
| Moda Temp | 24,9 |
| Cant Horas Temp >32°C | 3:30:00 |
| Cant Horas Temp 23°C-32°C | 446:40:29 |
| Cant Horas Temp < 23°C | 15:30:00 |
| Total Horas | 465:40:29 |

Fuente: Elaboración propia

Calidad del tabaco obtenido.

La calidad del tabaco obtenido, para las pruebas 1 y 2, fueron revisadas por la British American Tobacco, según se detalla en la siguiente tabla.

La tabla 9 está tomada de la factura de compra del tabaco Burley vendido por del Sr. Johanny Rodríguez a la empresa British American Tobacco sede San Gil en la fecha del 20 agosto del 2015.

Según (Agricultural Marketing Service, 1979), la correcta clasificación del tabaco Burley consiste en identificar y separar las hojas por la posición en el tallo (ver figura 13). De acuerdo a (Reed, 2005), la mayoría de cultivos de tabaco Burley tendrán

cuatro posiciones diferentes en el tallo, que están determinadas por la madurez, cuerpo y color. Las diferentes posiciones se identifican por grupos de la siguiente forma; flyings (X), cutters (C), leaf (B), and tips (T).

Tabla 9. Grados de calificación internas realizadas por empresa British American Tobacco sede San Gil – Santander, Colombia.

| | Gramos | Compra | Real |
|----------|--------|--------|------|
| PRUEBA 1 | 1189 | X3 | XCK |
| | 3029 | C2 | CCW |
| | 455 | C2 | CCD |
| PRUEBA 2 | 320 | C2 | MCD |
| | 839 | C2 | MCC |
| | 135 | T1 | BCD |
| PRUEBA 3 | 1090 | X2 | CCW |
| | 690 | X2 | XCW |
| | 630 | X2 | XCK |
| | 1549 | T3 | BFD |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Posición de las hojas de tabaco burley en el tallo.

Fuente: Tomada de (Libuy, 2008) Pag. 39.

El grupo de Flyings (X) se compone de las hojas más viejas y maduras cultivadas en la parte inferior del tallo. Estas hojas son muy finas al tacto y de color canela.

El grupo de Cutters o Lugs (C) son hojas que crecen en medio de la planta por encima de las “flyings”. Estas hojas son delgadas de cuerpo medio y color bronceado; generalmente son las hojas

más largas, más anchas en el tallo y típicamente tienen una punta redondeada.

El grupo de Leaf (B) se compone de hojas largas y estrechas con cuerpo pesado y puntas puntiagudas, con tendencia a color rojo. Crecen por encima de las “cutters” diferenciándose fácilmente por ser de color más oscuro.

El grupo de Tips(T) son las hojas de la parte superior de la planta con un cuerpo medio pesado y son muy similares al grupo de la hoja “leaf”; de manera ligera poseen un color más oscuro con un poco más de cuerpo.

Al comparar la tabla 9 (grados de calidades de tabaco obtenidas en las pruebas realizadas antes descritas) con la tabla 10 (tabla estándar de calidades de tabaco Burley), se observan los siguientes resultados:

En la prueba1, curación y secado de Burley por hoja sin sistema de control, se obtuvieron hojas de tabaco Flying de buena calidad y Lugs o Cutters.

En la prueba 2, curación y secado de Burley ensartado en mata, se obtuvieron hojas de tabaco Cutters o Lugs, y Tips, de buena calidad.

En la prueba 3, secado de tabaco Burley por hoja con sistema controlado por PLC, se obtuvieron hojas de tabaco Flying y Tips de buena calidad.

Tabla 10. Nomenclatura calidades de tabaco Burley
Fuente: Tomada de (Agricultural Marketing Service, 1979) Pág. 28.

| Primera Letra: Groups | Número: Qualities |
|---------------------------------|-------------------|
| X - Flying | 1 - Choice |
| C - Lugs or Cutters | 2 - Fine |
| B - Leaf | 3 - Good |
| T - Tips | 4 - Fair |
| M- Mixed | 5 - Low |
| N - Nondescript | |
| S - Scrap | |
| Segunda y Tercera Letra: Colors | |
| L - Buff | R - Red |
| F - Tan | D - Dark red |
| FR-Tannis red | K - Variegated |
| | M- Mixed |
| | VR-Greenish red |
| | V - Greenish |
| | VF-Greenish tan |
| | GR-Green red |
| | G - Green |
| | GF- Green tan |

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Al evaluar y realizar pruebas en un recinto cerrado, se demostró que es viable tener un sistema artificial controlado en temperatura y humedad para la curación de dicho tabaco. La prueba 2 (curación y secado por mata), mostro cómo en la cámara la temperatura (con un control básico on/off) y la humedad (por medio de un control on/off de humidificadores por ultrasonido) se mantuvieron la mayor parte del tiempo dentro de los rangos deseables para el proceso (23°C – 32°C, 50% - 70% de RH). En la prueba 3 (curación y secado por hoja con control de temperatura on/off mejorado, y con control PID, ambos por PLC), la regulación de la variable temperatura fue más fina que en la prueba 2, logrando que en promedio la temperatura estuviese muy cerca del ideal (26% +-10%). Y aunque la humedad en esta prueba estuvo en promedio por encima del 70%, el proceso de curación y secado fue adecuado y reducido en tiempo. De este modo se evidenció que al mantener condiciones controladas para la curación y secado, se puede disminuir los tiempos del proceso entre 15 y 20 días, sin perder la calidad del Burley.

Puede inferirse que una mejor sintonización del control PID sobre el lazo de temperatura, y una optimización del control del lazo de humedad (quizá con la implementación de un control PID sobre esta variable, o con el diseño de un control multivariable para todo el proceso), se puede mejorar en modo sustancial la calidad del tabaco Burley para la venta, toda vez que el ciclo circadiano al que se ven sometidas las hojas, no estaría a merced de los cambios climáticos.

La humedad relativa es el parámetro que debe variarse en la etapa de curación del Burley. La variación controlada de RH permite fijar el color característico, a diferencia de la temperatura, que debe ser un parámetro constante durante esta etapa. Al respecto, en el trabajo desarrollado se logró para la cámara de curación y secado experimental, un mecanismo de control de humedad relativa

por medio de humidificadores ultrasónicos, que se puede manipular de acuerdo a las etapas de curación y secado del Burley. Es fundamental tener presente que en el proceso de curación no es deseable disminuir la variable tiempo a costa de la calidad de la curación. Así, una reducción de tiempo en el proceso es más viable y posible, según se comprobó, durante el secado de la hoja.

Para que el proceso de curación y secado sea óptimo es de suma importancia mantener un espacio entre hojas al ensartar el tabaco, y mantener un flujo de aire constante en el recinto de curación y secado, para evitar la pudrición del mismo.

El control de plagas no depende del sistema de control de humedad y temperatura dentro la cámara. El control de plagas deberá garantizarse, en todo caso, con antelación al proceso de curación y secado.

Referencias bibliográficas

- Agricultural Marketing Service, T. D. (23 de 08 de 1979). Official Standard Grades Burley Tobacco U.S. TYPE 31. 28. Obtenido de <https://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/qlfn0058>
- Barajas, O. J. (2007). Optimización del proceso de fermentación de tabaco negro para la elaboración de cigarros puros. (pág. 155). San Gil: UNISANGIL.
- Duncan, G., Wells, L., & Wilhoit, J. (2008). Facilities and Curing. En *TOBACCO Production Guide* (págs. 48-56).
- Jeffrey, R. N. (July de 1940). *The Effects of Temperature and Relative Humidity During and After Curing upon the Quality of White Burley Tobacco*. Univ. of Ky, Lexington.
- Libuy, W. R. (2008). Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad tabaco. SQM S.A.
- Reed, D. R. (18 de 10 de 2005). Burley Grade Information for New Growers.
- SIEMENS. (2007). SIMATIC S7-200 Programmable Controller System Manual. *Manual, 09*.
- Walton, L. R. (18 de 10 de 2005). Burley Curing Technology - AEU-93. University of Kentucky.

