

## **EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN ESTUFAS DE CURADO DE TABACO TIPO BULK CURING**

Altobelli, F.; Vicente, P.; Díaz Russo, G.; Condorí, M.

Universidad Nacional de Salta  
Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO)  
Av. Bolivia 5150 – A4408FVY Salta, República Argentina  
Tel. 0387-4255325 e-mail: fabi\_altobelli@yahoo.com.ar

*Recibido 15/08/13, aceptado 29/09/13*

**RESUMEN:** Se presentan los resultados obtenidos de la aplicación y ensayo de diversos sistemas de ahorro energético a estufas bulk curing de curado de tabaco Virginia. Se estudiaron dos métodos de aislación del suelo de las estufas, contrastando los valores con una testigo. Estos sistemas incluyeron por un lado la incorporación de bandejas de poliestireno cubiertas con hormigón, y por el otro una combinación de arena y ripio. Los ensayos abarcaron la temporada de producción 2012-2013, con la medición de seis estufadas simultáneas. Entre las variables registradas se encuentran: temperaturas y humedad relativa del interior de la cámara de secado, consumo de gas, peso de carga y descarga de tabaco, y temperatura ambiente. Como resultados, se aprecia que los tres dispositivos ensayados lograron cumplir desde un punto de vista térmico e higrométrico con las etapas especificadas de curado, alcanzando buena calidad final de las hojas. Sin embargo, en lo que respecta al consumo de gas se observaron diferencias. El tratamiento con bandejas de poliestireno resultó con un consumo del orden del 9% inferior a la testigo. También pudo demostrarse la gran influencia de la temperatura ambiente en aquella del interior de la cámara de secado, debido a una aislación térmica deficiente. Quedan aún por realizarse mayores ensayos, con la inclusión de otras estrategias de ahorro tales como aislación de paredes basales, burletes para puertas y ventanas, etc.

**Palabras Clave:** ahorro energético, estufas de tabaco, tabaco Virginia

### **INTRODUCCIÓN**

La producción de tabaco representa para la provincia de Salta, una de las actividades económicas más importantes. La producción anual de tabaco curado ronda los 40 Mkg, que requiere para ello unos 40 Mm<sup>3</sup> de gas aproximadamente. Existe en toda la zona tabacalera una extensa red de aprovisionamiento de gas natural para el secado de tabaco, a la cual tiene acceso la mayoría de los productores. Sin embargo, en los últimos años y dada la escasez de gas que viene aquejando al país, dichos productores han sufrido recortes en el suministro y encarecimientos considerables de sus costos (Altobelli, Condorí, Díaz Russo, & Durán, 2010) (Altobelli, Condorí, Durán, & Díaz Russo, 2011).

El tabaco Virginia requiere de un proceso de curado en estufa que se realiza en la finca y obliga a una inversión inicial alta. Aproximadamente el 80% de estos dispositivos corresponden al modelo bulk-curing, con estructuras metálicas alargadas. En la mayoría de los casos, la falta de mantenimiento y las precarias condiciones de aislación provocan que las estufas presenten una gran deficiencia energética. De hecho, estudios de eficiencia realizados en la región demuestran que solo un 30% de la energía suministrada (gas natural y electricidad) es efectivamente empleada para el secado de las hojas (Eckhardt, 2002) (Altobelli, Condorí, Díaz Russo, & Durán, 2010) (Cornejo & Fiore, 2004).

La sostenibilidad en el tiempo de los importantes beneficios sociales y económicos que la actividad tabacalera representa en nuestra región, se ve amenazada frente al inexorable agotamiento y encarecimiento de los combustibles fósiles. Sumado a esto, la mayor conciencia ambiental exige el desarrollo e inserción de fuentes de energía alternativas, limpias y sustentables.

Una de las mayores necesidades presentes en el sector tabacalero es la reducción de los costos de producción (Paganetti & Guantay, 2005) (Cruz, 1989), dentro de los cuales, el costo de curado, para Argentina, representa aproximadamente entre un 18% a un 20%. Así, la optimización de la eficiencia del proceso de curado se presenta como un importante aspecto en donde enfocar los esfuerzos para reducir tanto los costos de producción como los impactos ambientales (huella de carbono) (Dib-Ashur, 2013).

En este contexto, y planteado como primera medida, adquiere vital importancia la disminución del consumo de energía desde fuentes convencionales mediante el mejoramiento de la eficiencia energética de los dispositivos industriales actuales (apuntados como de uso energético intensivo), sobre esto existen tanto antecedentes locales como internacionales (Siddiqui, 2001). Se plantean como objetivos del presente trabajo, la determinación y ensayo de sistemas de ahorro energético, cumpliendo como premisas, que los mismos sean de fácil y económica incorporación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Conociendo a partir de los monitoreos previos efectuados, que la causa principal de pérdida térmica se encuentra en el suelo desnudo de las estufas bulk-curing (Altobelli, Condorí, Díaz Russo, & Durán, 2011), se diseñó un ensayo de aislación de esta superficie con el fin de evaluar la propuesta y el potencial ahorro energético. Con la premisa de buscar alternativas económicas, se plantearon tres tratamientos simples y de rápida aplicación. Los mismos fueron aplicados a estufas pertenecientes al parque de estufas de un establecimiento productivo privado.

### *Las Estufas*

Las estufas de curado empleadas durante el ensayo son estufas de tipo bulk-curing, presentan dos “túneles” (180 perchas) (Ulivarri, 1990), con un ancho exterior total de 3.12m; 12m de largo y una altura aproximada de 3.47m (cada túnel posee dimensiones de 1.3m de ancho y 10.4m de largo). La estructura de cada túnel está conformada por caños estructurales metálicos de 40mm x 20mm. Las estructuras de paredes, techo y compuertas se encuentran revestidos en el interior y el exterior con chapas galvanizadas, con aislación de 5 cm de fibra de vidrio entre ellas. Tanto las puertas como las ventanas carecen de burletes de goma que impidan la pérdida térmica por flujo de aire caliente.

El piso, por su parte, se encuentra desnudo, sin ningún tipo de terminación ni aislación térmica, y tiene una pendiente del orden del 1% hacia la parte posterior de la estufa. La parte basal de las paredes perimetrales y puerta se halla construida con mampostería (construcción de ladrillos y cemento) de una altura de 0.5m.

El abastecimiento energético es proporcionado a través de un quemador de gas natural (“AUTO-QUEM”, modelo LXH-1008), controlado por un termostato digital con sonda al centro de la cámara de curado. El quemador cuenta con una potencia de 80.000 Kcal/hr y trabaja a una presión de 160 gr/cm<sup>2</sup>. El mismo se encuentra conectado a un intercambiador de calor indirecto del tipo gas-aire, de acero inoxidable, que evita el ingreso a la cámara de secado de los gases provenientes del proceso de combustión, impidiendo la formación de nitrosaminas específicas del tabaco (TSNA).



*Figura 1: Estufas ensayadas.*

### *Tratamientos*

Para la realización del ensayo se seleccionaron 3 estufas de idénticas características y pertenecientes al mismo productor tabacalero, una por cada tratamiento, y se midieron 6 estufadas (réplicas) para cada caso, buscando de que el ensayo permita cubrir la medición para todas las posiciones foliares de la planta de tabaco, eliminando este tipo de distorsiones de los resultados.

#### *Tratamiento 1: Aislación del piso con bandejas de poliestireno expandido (telgopor).*

En este primer tratamiento se practicó la aislación del suelo de la estufa con bandejas de poliestireno expandido (telgopor). Se emplearon para ello, las bandejas residuales que emplean los productores para la elaboración de almácigos de tabaco del sistema flotante (280 celdas – 17cc). Para cubrir la totalidad del área, fueron necesarias aproximadamente 120 bandejas, las cuales se ubicaron de manera invertida. Se conformó una sola capa de dichas bandejas ubicada entre dos láminas, una abajo y otra arriba, de plástico negro de 200 µm para protegerlas de la humedad. Encima de esto, y en contacto directo con la lámina superior de plástico, se colocó una carpeta de concreto de 5 cm de espesor, con un acabado alisado en la superficie.

#### *Tratamiento 2: Aislación del piso con arena y ripio lavado.*

Para este tratamiento, la selección de la estrategia de ahorro en el consumo de gas provino de recomendaciones de productores tabacaleros de la localidad de Perico, provincia de Jujuy. En forma directa sobre el terreno se dispuso una capa de aproximadamente 5 cm. de espesor de arena gruesa, y por encima de la misma otra capa de ripio lavado de aproximadamente 6 cm. de espesor.

Tanto para el Tratamiento 1 como para el 2, fue necesario desmontar los andamios basales de las estufas, excavar previamente el suelo de las mismas en una profundidad igual al espesor de los materiales utilizados, para así mantener el nivel original del terreno. También se tuvo la precaución de respetar la pendiente original, la cual es del orden del 1% hacia la parte posterior de la estufa.

#### *Tratamiento 3: Estufa testigo.*

Con el propósito de poder medir la influencia de la aislación del piso en la eficiencia de curado, se tomaron también mediciones a una estufa a la que no se le realizó ninguna modificación. Esta estufa es representativa del resto de los dispositivos presentes en la propiedad del productor, y por ende, permite contrastar los resultados alcanzados con los otros tratamientos.

#### *Sistema de Medición*

Entre las variables medidas durante el ensayo, fueron tenidas en cuenta:

- o -Consumo de gas ( $m^3$ )
- o -Temperaturas del interior de la cámara ( $^{\circ}C$ )
- o -Humedad relativa (%)
- o -Peso de carga y descarga de tabaco (kg)

#### *Consumo de gas*

Dado que el común de los emprendimientos tabacaleros cuenta con medidores de gas generales, en las estufas bajo análisis fue necesaria la instalación de medidores de gas individuales, certificados y avalados por la distribuidora local GASNOR. Dichos medidores fueron acoplados a los caños de conducción de cada una de las 3 estufas ensayadas para poder contar con registros de volumen de gas consumido individualmente, por estufada y a lo largo de todo el ensayo.

#### *Temperatura*

El registro de la temperatura se realizó por dos medios:

##### *Termocuplas*

En cada estufa se instalaron 8 (ocho) termocuplas tipo K convenientemente calibradas. Cuatro de las cuales fueron ubicadas en proximidades de la compuerta, una en cada uno de los cuatro vértices de un cuadrado imaginario; las cuatro restantes fueron instaladas de igual manera en el sector posterior de la cámara de secado, en cercanías al ingreso de aire caliente. Estos sensores se conectaron a su vez, a un datalogger CR23X Campbell.

Para los fines de este estudio, y dada la longitud del proceso de curado (aproximadamente 8 días), se optó por definir intervalos de 1 minuto entre medidas, asimismo, los datos almacenados en la memoria fueron descargados semanalmente a una computadora laptop para luego ser procesados en gabinete.

##### *Sensor digital de humedad relativa y temperatura*

En cada una de las 3 estufas ensayadas se instaló también un dispositivo digital con sensores de humedad relativa y temperatura (modelo UMMI, marca BETHA). El sensor de temperatura fue ubicado entre los dos túneles inferiores tratando de que sobresalga aproximadamente 15 cm por debajo del nivel de las hojas. El sensor de humedad relativa fue ubicado en el medio de la cámara de secado.

##### *Peso de carga de tabaco verde*

Al momento de cargar la estufa, cada peine fue pesado en balanzas especialmente diseñadas para tal propósito, y calibradas para excluir el peso de los peines.

##### *Peso de descarga de tabaco curado*

Una vez finalizado cada proceso de curado el tabaco fue descargado y colocado en cajas doble de cartón (C48) (según exigencias de las empresas acopiadoras para evitar la inclusión de materia extraña en los posteriores fardos). Luego estas cajas fueron pesadas en una báscula. En ésta oportunidad la misma no fue calibrada para excluir el peso de las cajas, por lo tanto, fueron pesadas una serie de 11 cajas vacías de manera de representar lo mejor posible los distintos grados de desgaste de las cajas utilizadas, y se obtuvo un peso promedio de 14,46 Kg. Dicho valor fue utilizado para obtener el peso neto de tabaco curado.

## **RESULTADOS**

### *Mediciones de temperatura*

Térmicamente, las estufas no evidenciaron diferencias, siguiendo las curvas establecidas como características para el curado del tabaco tipo Virginia (*Figuras 2,3 y 4*). Se destaca el hecho de que todos los sensores ubicados en la parte baja de la

cámara de secado, son los que demuestran grandes saltos térmicos, debido a que los mismos registraron la temperatura del aire del pleno basal. Los sensores ubicados en las porciones superiores, registran valores continuos, sin grandes variaciones instantáneas, obedeciendo a la proximidad con la masa de hojas, con la influencia de su inercia térmica.

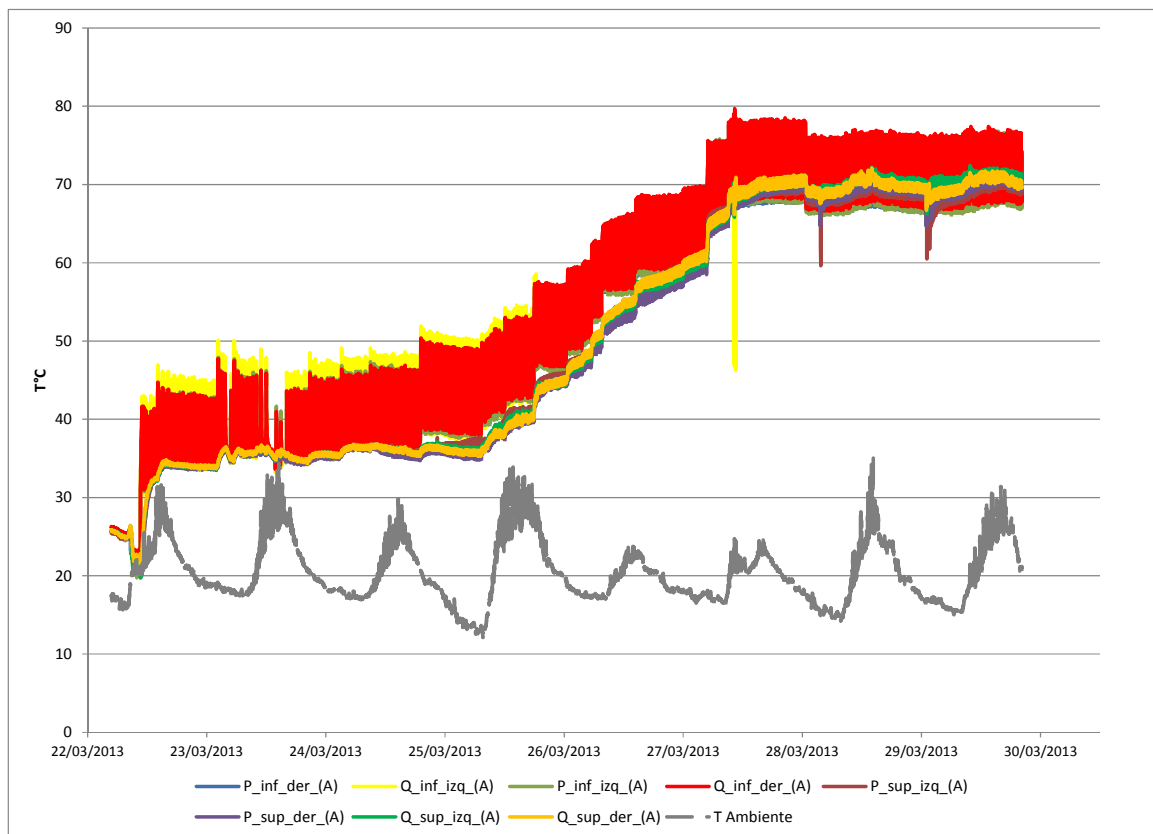


Figura 2: Datos de temperatura registrados en la estufa con Arena y Ripio (A)

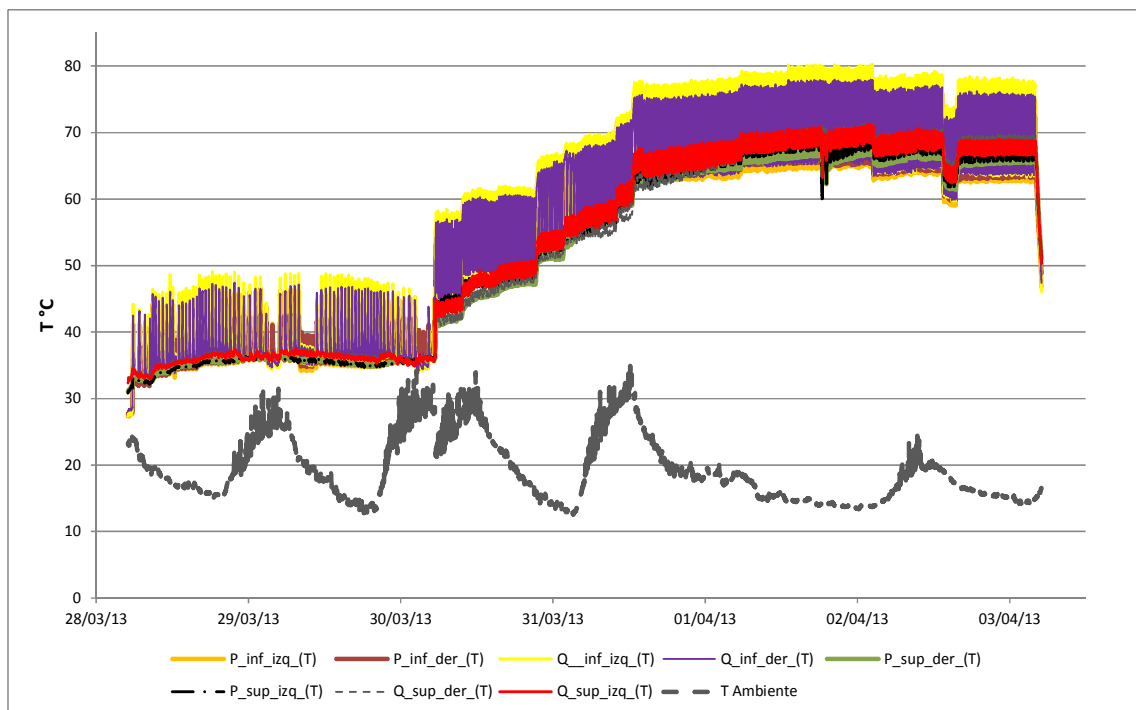


Figura 3: Datos de temperatura registrados en la estufa con Telgopor (T)

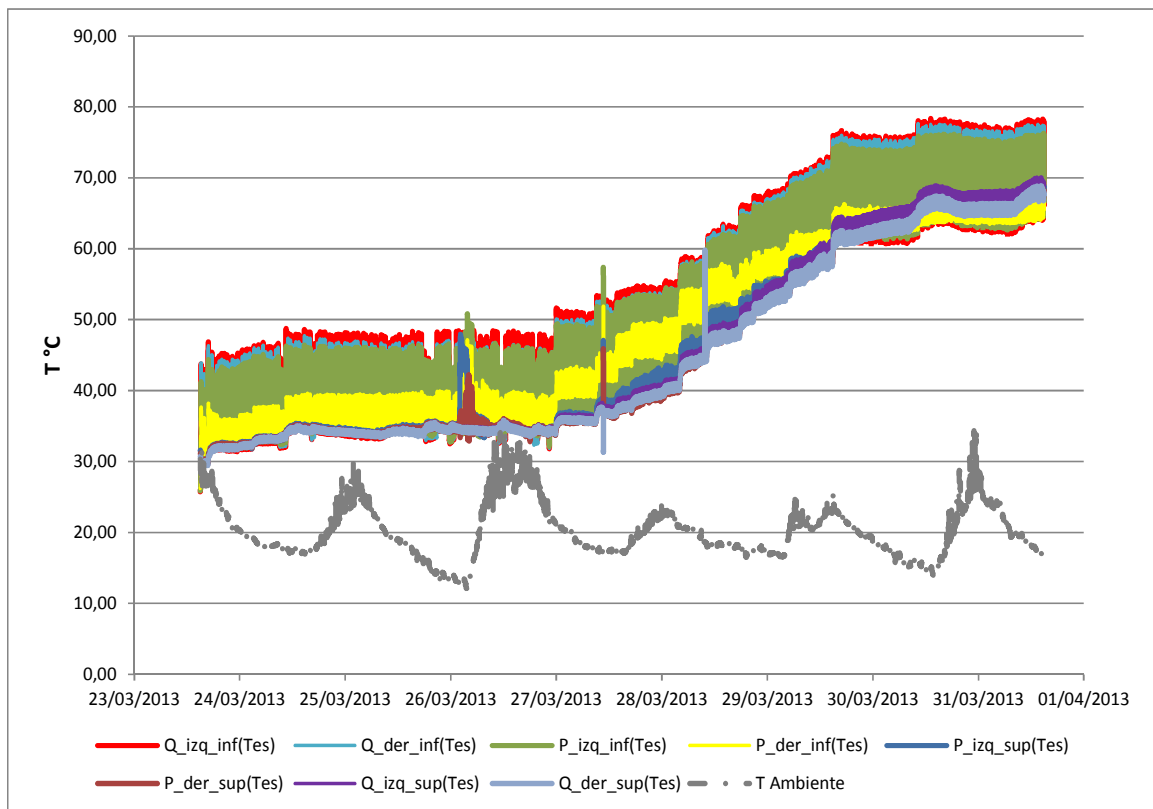


Figura 4: Datos de temperatura registrados en la estufa testigo (Tes)

#### Eficiencia de curado

El consumo de gas de cada estufa fue analizado por estufada, obteniendo luego con los valores de carga y descarga de tabaco la “Eficiencia de Curado” de cada una ( $\text{m}^3$  de gas/ kg de tabaco curado). Asimismo, se calculó la diferencia de consumo de cada tratamiento en comparación con la estufa testigo expresada en volumen de gas por kilo de tabaco curado ( $\text{m}^3/\text{Kg}$ ).

Si bien en las primeras tres estufadas y en la última se aprecia una clara diferencia en el consumo de gas por kg de tabaco curado a favor del tratamiento con bandejas de telgopor, en la cuarta y quinta estufada esta relación se invierte. La explicación de este fenómeno se halla en el estudio de la temperatura exterior ambiente, ya que se pudo registrar un marcado descenso de la misma que coincide temporalmente con la etapa en la que esta estufa debía elevar significativamente su temperatura (secado de lámina) (Figura 5 y 3). Si bien, falta aún un análisis más detallado de este fenómeno, en cierta manera pone de manifiesto la influencia de la temperatura ambiente sobre aquella en el interior de la cámara de secado, aduciendo a deficiencias en la aislación térmica de la estructura de las estufas.

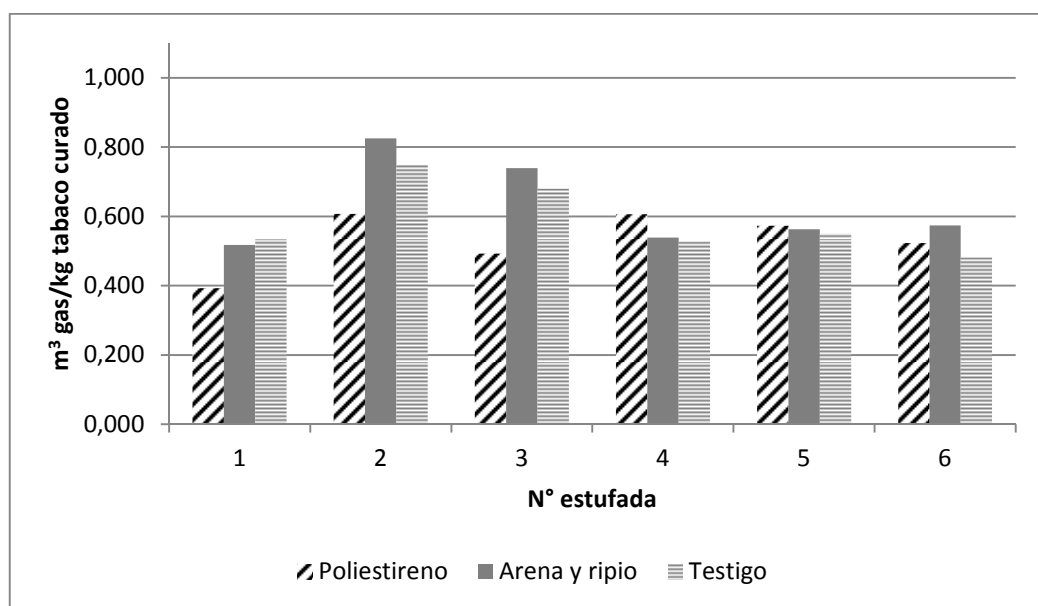


Figura 5: Eficiencia de curado de cada tratamiento en las 6 estufadas medidas.

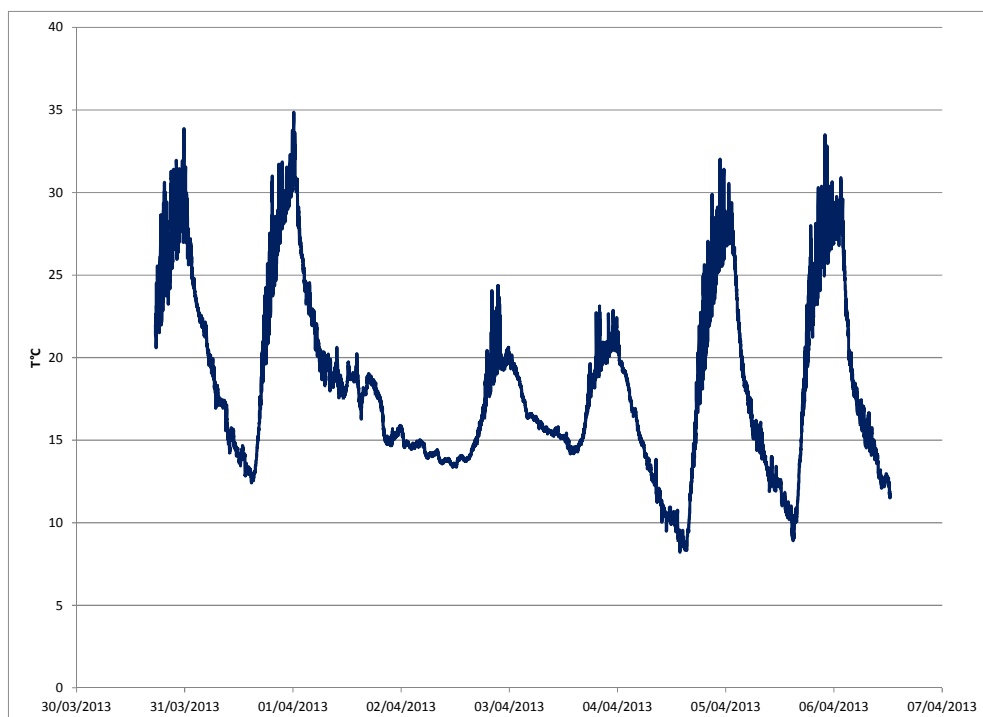


Figura 6: Datos de temperatura ambiente registrados durante la quinta estufada de la estufa aislada con telgopor.

Posteriormente, y con la totalidad de datos, se calcularon los valores promedio de consumo y carga de tabaco curado. Esto posibilitó evaluar el ensayo. De este análisis se desprende que el tratamiento con telgopor o poliestireno expandido resultó con una eficiencia de curado un 9% superior a la estufa testigo.

TRATAMIENTO	CONSUMO DE GAS (m <sup>3</sup> )	TABACO CURADO (Kg)	EFICIENCIA DE CURADO		AHORRO DE GAS (m <sup>3</sup> /Kg)
			(m <sup>3</sup> /Kg)	Var. (%)	
TESTIGO	3818	6614	0,588	0%	0,000
ARENA Y RIPIO	3963	6455	0,628	-7%	0,040
TELGOPOR	3783	7151	0,536	9%	-0,052

Tabla 1 Datos de consumo de gas registrados durante el ensayo.

## CONCLUSIONES

Según una evaluación de eficiencia energética realizada anteriormente sobre las estufas empleadas para el presente ensayo, las mayores pérdidas de calor, además de las producidas a través del suelo desnudo, se dan a través de: perímetro basal de mampostería (pérdida por conducción); puentes térmicos en la estructura del interior de la cámara y bisagras (pérdida por conducción); flujos de aire caliente a través del picaporte y por debajo de las compuertas. Teniendo esto en cuenta, la mencionada mejora del 9% en la eficiencia de curado toma mayor relevancia ya que fue lograda únicamente con aislación del suelo, y podría ser mayor si se adicionaran otras posibles mejoras en las estufas: burletes de goma en puertas y ventanas, aislación térmica en base perimetral, un mejor diseño del intercambiador de calor y de la cámara de curado que evite los numerosos puentes térmicos de la estructura metálica, entre otros.

El hecho de que el consumo de gas de la estufa aislada con telgopor se haya visto modificado por causas externas denota la gran influencia de los valores de temperatura ambiente en el comportamiento de las estufas. Esta situación obedece básicamente a deficiencias en la aislación térmica de las mismas. Se apunta en este caso, a un aspecto a ser mejorado en miras de lograr objetivos significativos de ahorro energético.

Por otro lado, el tratamiento de aislación con arena y ripio lavado demostró ser menos eficiente que la estufa de control, consumiendo un 7% más de gas por kilo de tabaco curado. Como se mencionara, la elección de este tipo de aislación surgió de conversaciones con productores tabacaleros, ante sugerencias de sus pares de la provincia de Jujuy. Si bien la motivación de incluir este tipo de materiales en el suelo de las estufas, prevé que los mismos tendrán un comportamiento de acumulación, aparentemente no fue tenido en cuenta el hecho de que al no incluir aislación alguna, se favorece el proceso de conducción hacia el suelo. No se pudo acceder a información técnica confiable respecto a este punto, siendo el presente trabajo el único que hasta el momento ha ensayado y medido esta sugerencia.

Se destaca que el hecho de que el sistema con incorporación de poliestireno expandido haya resultado el de mayor eficiencia, no sólo posee importancia desde un punto de vista energético, sino que posibilita dar valor a un componente residual de la producción de tabaco Virginia, como lo son las bandejas de almácigos flotantes. Estas fueron incorporadas en los últimos años, junto con el sistema flotante (Floating) ante la prohibición de empleo de desinfectantes tóxicos (Bromuro de Metilo) a los almácigos convencionales tipo cantero. Con un ciclo de vida útil que ronda los cuatro años, una vez cumplida su función, la disposición final de las mismas representa un verdadero problema para los productores. Algunos optan por enviarlas a centro de reciclaje, aunque para la mayoría esto trae un costo adicional aparejado.

## REFERENCIAS

- Altobelli, F., Albesa, F., & Condorí, M. (2012). Análisis de imágenes digitales para caracterizar el proceso de secado de productos agrícolas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*(16), 08.129-08.136.
- Altobelli, F., Condorí, M., Díaz Russo, G., & Durán, G. (2010). Estudio del desempeño energético de una estufa de secado de tabaco. Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*(14), 07.41-07.48.
- Altobelli, F., Condorí, M., Díaz Russo, G., & Durán, G. (2011). Determinación de pérdidas térmicas estructurales en estufas de tabaco tipo bulk-curing en la provincia de Salta. Río Hondo, Santiago del Estero: Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES).
- Altobelli, F., Condorí, M., Durán, G., & Díaz Russo, G. (2011). Determinación de pérdidas térmicas estructurales en estufas de tabaco tipo bulk-curing en la provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*(15), 07.47-07.53.
- Belessioti, V., & Delyannis, E. (2011). Solar Drying. *Solar Energy*, 85, 1665-1691.
- Cornejo, M., & Fiore, I. (2004). *El Cultivo del Tabaco en el Valle de Lerma - Salta. Hoja Informativa N° 22*. Cerrillos, Salta: Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa Valle de Lerma. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Corradini, E., Zilocchi, H., Cuesta, R., Seghesso, R., Jiménez, M., & Musco, J. (2005). *Análisis del sector productor tabacalero en la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina.: Serie de Documentos de Investigación. Facultad de Ciencias Agrarias. Centro de Altos Estudios "José Gándara".
- Cruz, M. (1989). *Análisis económico de la producción de tabaco en el NOA. Seminario monográfico*. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales. Universidad Nacional de Salta.
- Dib-Ashur, H. (2013). *Estimación y Aplicación de Huella de Carbono en la Producción Tabacalera del Valle de Lerma, Salta*. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Eckhardt, M. (2002). *Las empresas transnacionales tabacalera: Recuperación de una pasantía de pregrado universitario en una empresa en la provincia de Salta*. Salta, Argentina.: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Fundación EcoAndina. (2010). *Análisis energético del proceso de deshidratación de tabaco a través de Bulk Curing y posibles mejoramientos energéticos*. Jujuy, Argentina: Massalin Particulares S.A.
- López Méndez, A. (2008). *El curado de tabaco Virginia en España. Manual práctico para todos los agricultores* (1° ed.). Madrid: Enciclopedia básica del cultivo de tabaco.
- Massalin Particulares S.A. (2011). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de tabaco Virginia*. Salta, Argentina.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. (2011). *Impacto regional del convenio marco para el control del tabaco* (1° ed.). Buenos Aires, Argentina.
- Paganetti, A., & Guantay, J. (2005). *El circuito productivo del Tabaco en el departamento de Cerrillos. Seminario monográfico*. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales. Universidad Nacional de Salta.
- Pope, R. H. (2008). *Demonstrator initiative for solar-assisted hybrid-energy source bulk tobacco curing barn*. Tarboro NC: Eastern Carolina Manufacturing Company LLC.
- Rodríguez Faraldo M., Z. H. (2012). *Historia del cultivo del tabaco en Salta*. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. .
- Siddiqui, K. M. (2001). Analysis of a Malakisi barn used for tobacco curing in East and Southern Africa. *Energy Conversion and Management*, 42(4), 483-490.
- Ulivarri, D. F. (1990). *El cultivo de los tabacos claros. Manual 1*. Salta, Argentina.: Centro Regional Salta-Jujuy. Estación experimental Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

**ABSTRACT:** The results of the implementation and analysis of different energy saving systems to Virginia tobacco's barn are presented. Two soil isolation methods were studied contrasting their values to those of a sample barn. These systems included on one hand the incorporation of polystyrene trays covered with concrete and on the other a combination of sand and gravel. The tests covered the 2012-2013 production season, with six simultaneous measurement of tobacco charge. The variables that were recorded are: the temperature and relative humidity inside the drying chamber, gas consumption, weight of the load and unload tobacco, and ambient temperature. The results show that all three tested devices were correctly

managed to meet, from a thermal and hygrometric standpoint, with the specific stages of curing; in the three cases it was reached a good final quality of the leaves. However, in terms of gas consumption differences were observed. Treatment of polystyrene trays resulted with a consumption of approximately 9% lower than the sample. It could also be proved the influence of ambient temperature on the gas consumption of the barns referring to lack of isolation. More tests remain to be performed, with the inclusion of other savings strategies such as basal wall insulation, weather stripping for doors and windows, etc.

**Key words:** Energy saving, tobacco's barn, Virginia tobacco