

## **Caracterización de los residuos vegetales de invernadero para su aprovechamiento en sistemas de calefacción y enriquecimiento**

J.V. Reinoso<sup>1</sup>, F.G. Acién<sup>1</sup>, M.D. Fernández<sup>2</sup>, J.C. López<sup>2</sup>, F. Rodríguez<sup>3</sup> y J.A. Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería. Grupo de Biotecnología de las microalgas marinas. Universidad de Almería. e-mail: rmj519@ual.es, facien@ual.es

<sup>2</sup> Estación experimental de la Fundación Cajamar, Paraje “Las Palmerillas”, El Ejido (Almería) E-mail: mdoloresfernandez@fundacioncajamar.com, juancarloslopez@fundacioncajamar.com

<sup>3</sup> Departamento de Informática. Grupo de Investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica. Universidad de Almería, ceiA3, CIESOL. E-mail: frrodrig@ual.es, jorgesanchez@ual.es

### **Resumen**

En este trabajo se estudian las propiedades de los RV y posibles alternativas para mejorarlas con el objetivo de ser aprovechados energéticamente. Se determinaron la humedad, el contenido en cenizas y poder calorífico superior (PCS) de muestras de RV sin frutos procedentes de los puntos de recogida (RVP). Paralelamente, se realizaron las mismas determinaciones a plantas sin frutos tomadas directamente de invernaderos de la E.E. Las Palmerillas (RVI). También se ha estudiado el proceso de secado natural de RVI en dos periodos diferentes y que coinciden con los periodos de mayor generación de RV, febrero y julio.

Palabras clave: RVI, cenizas, poder calorífico

### **Characterization of plant waste gases for use in heating and enrichment Abstract**

In this paper the properties of the vegetable residues (VR) and possible alternatives to improve them in order to be exploited energetically are studied. Moisture, ash content and higher heating value (PCS) were determined from RV samples without fruits coming from collection points (RVP). At the same time, these determinations were carried out on plants without fruits coming directly from greenhouses at the E.E. Las Palmerillas (RVI). The natural drying process of greenhouse vegetable residues (GVR) was also studied in two different periods coinciding with the periods of highest generation of RV, February and July.

**Keywords:** GVR, ashes, calorific value

### **Introducción y/o Justificación**

En la provincia de Almería anualmente se generan entorno a 1.050.000 tn de residuos vegetales. El tratamiento de los residuos vegetales (RV) de invernadero en la provincia de Almería supone un problema debido a su cantidad, heterogeneidad, retirada y tratamiento supone un gasto importante para el agricultor. La reutilización de los RV como fuente de calor reduciría el problema medioambiental. El aprovechamiento térmico de los RV requiere conocer las condiciones en que son producidos y definir los métodos de procesamiento necesarios para adecuarlos a su utilización en calderas de biomasa. En este trabajo se estudian las propiedades de los RV y posibles alternativas para mejorarlas con el objetivo de ser aprovechados energéticamente (Sánchez-Molina et al., 2014).

### **Material y Métodos**

*Sistema de calefacción y enriquecimiento por combustión de biomasa:* El sistema utilizado en los ensayos se muestra en la Fig. 1. En el esquema del sistema de almacenamiento y enriquecimiento de CO<sub>2</sub> se pueden observar los diferentes componentes que conforman el sistema. El proceso completo tiene dos lazos de control diferentes: el primero, PIC, que

corresponde al proceso de captura de CO<sub>2</sub> a partir de los gases de combustión y, OCI, es el que regula el enriquecimiento carbónico a partir del CO<sub>2</sub> almacenado.

*Biomasa estudiada:* Se ensayaron 2 tipos de mezclas distintas de combustibles sólidos compuestos de biomasa: una mezcla de restos de planta de tomate (RPT) y restos de poda de almendro; y 2), otra mezcla de pellets RPT con pellets de pino. Por una parte para la mezcla de RPT y poda de almendro, los RPT fueron En el caso de la primera mezcla la biomasa tras ser triturada se pelletizaba la mezcla conjuntamente, mientras que en segundo caso, la mezcla se hacía de pellets en conjunto. Por otra parte para la 2ª mezcla, se ensayaron distintas composiciones de pellets de RPT y de pino, probándose 0% RPT- 100% pellets de pino; 25- 75%, 50- 50% y 75%- 25% respectivamente.

*Caracterización de los distintos tipos de biomasa:* Se llevaron a cabo determinaciones del contenido en humedad, cenizas y poder calorífico superior tanto de los pellets de pino, de restos de tomate con un contenido alto en suciedad, restos de tomate extraídos de manera que se limitase su ensuciamiento con el suelo. Para las determinaciones mencionadas, se siguieron los métodos detallados en la tabla 1.

*Ensayos de combustión:* La caldera empleada (Missouri) tiene entradas ajustables de aire primario y secundario (Fig. 2 y 3). Esta caldera es de lecho a florado, es decir, el combustible se introduce en la cámara de combustión, emergiendo de abajo a arriba. Es posible regular, así mismo, la velocidad de entrada de combustible. Se fueron ensayando distintas combinaciones de aire primario, secundario y tratando de encontrar un óptimo que minimizase las pérdidas térmicas y las emisiones de gases tóxicos (CO principalmente). Por otra parte se prestó importancia a la [CO<sub>2</sub>], ya que esta es importante de cara a optimizar el proceso de captura.

## **Resultados y Discusión**

Las distintas caracterizaciones llevadas a cabo tanto para las biomásas de partida como a sus mezclas. Además, se comprobó como la adición de poda de almendra incrementó un 5,7% el PCCI, esto queda dentro lo esperado teniendo presente lo concluido en las caracterizaciones anteriores con las que se pudo ver que el PCC de los RVI no es mucho menor que el de otros tipos de biomasa (Fig. 2 y 3). Tras los ensayos de combustión se observó como el comportamiento de la combustión conjunta de pellets de pino y de restos de tomate con un alto contenido en cenizas es algo mejor que el de la mezcla de restos de tomate con poda de almendro. De esta observación se plantea que el pellet de pino necesita menor temperatura para llegar a generar una llama, posteriormente el prendido de los pellets de pino facilita el de los de tomate, los cuales son más difíciles de prender y menos estables. Resultará interesante llevar a cabo pruebas de fiabilidad adicionales trabajando con condiciones reales usando este combustible para la calefacción del invernadero y llevar a cabo ensayos de captura de CO<sub>2</sub> con los gases generados en la combustión de estas mezclas. Prestando atención a como es la relación entre el contenido en RPT y pellets de pino, se aprecia como la adición de RPT perjudica el comportamiento del combustible en caldera reducciones la eficiencia e incrementándose la emisiones ligeramente. No obstante, parece darse un óptimo relativo entorno al 50- 60% obteniéndose unos resultados interesantes en cuanto a las distintas propiedades estudiadas. Es resaltable, por ejemplo que las pérdidas aumentan un 26,2 a 34,9% (8,7% de diferencia) considerando la combustión de pellets de pino de exclusivamente y la mezcla de un 43,6 pellets de pino- 56,4% pellets de RPT. De cara al proceso de captura de CO<sub>2</sub>, el caudal de aire menor suministrado por la soplante primaria (93,8 Kg/ h) proporcionó las mayores concentraciones de este gas. Así mismo,

con este caudal se obtuvieron menores pérdidas térmicas en la chimenea. No obstante, con este mismo caudal se obtuvieron las mayores [CO]. Para la optimización de un equipo de combustión ha de buscarse un balance entre las emisiones nocivas y la eficiencia térmica del propio equipo considerado. Los caudales superiores ofrecieron [CO<sub>2</sub>] algo menores, no obstante la [CO] fueron menores quedando estas dentro de la legislación establecida según el decreto 239/2011 emitido por la Junta de Andalucía. Es destacable que para el caso del caudal intermedio de aire primario (332,4 Kg/h) la [CO<sub>2</sub>] fue aumentando con el contenido de restos de tomate, llegando a valores similares a los alcanzados con el caudal de aire primario más bajo (93,8 Kg/h).

### Conclusiones

Los tratamientos previos a los que se someta los RV permiten mejorar las propiedades de estos de cara su aprovechamiento térmico. El picado de los RV y el secado natural durante el verano han sido suficientes para reducir la humedad a valores óptimos para la peletización, sin embargo durante períodos menos cálidos habrá que recurrir a técnicas de secado forzado. Las técnicas de recogida pueden reducir a la mitad los contenidos en cenizas de los RV, pero estos continúan siendo muy superiores a los de otras biomásas usadas en calefacción de invernaderos. Por tanto, el aprovechamiento térmico de los RV va a requerir la mezcla con otras biomásas en proporciones adecuadas.

### Agradecimientos

Esta investigación ha sido realizada dentro del proyecto “Controlcrop” P1O-TEP-6174 financiado por el Ministerio de Economía, Innovación y Ciencia de Andalucía, y el Proyecto del Plan Nacional DPI2014-56364-C2-1-R del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondos FEDER.

### Bibliografía

Sánchez Molina, J., Acien Fernandez, F., Rodriguez Diaz, F., Guzman Sanchez, J. "Development of a biomass-based system for nocturnal temperature and diurnal CO<sub>2</sub> concentration control in greenhouses". Biomass & Bioenergy, vol. 67, 2014, p. 60 - 71.

**Tabla 1. Parámetros clave a controlar para evaluar el desempeño de la combustión de la mezcla de RPT y poda de almendro a 50% con el ajuste óptimo de encontrado con la caldera para esta mezcla.**

<b>Aire primario</b>	<b>Kg/ h</b>	<b>93,8</b>
<b>Aire secundario</b>	<b>Kg/ h</b>	<b>93,6</b>
<b>[CO<sub>2</sub>]</b>	<b>% Vol</b>	<b>3,0</b>
<b>Pérdidas</b>	<b>%</b>	<b>44,8</b>
<b>Temperatura</b>	<b>°C</b>	<b>227,7</b>
<b>CO</b>	<b>ppm</b>	<b>&gt; 2000</b>

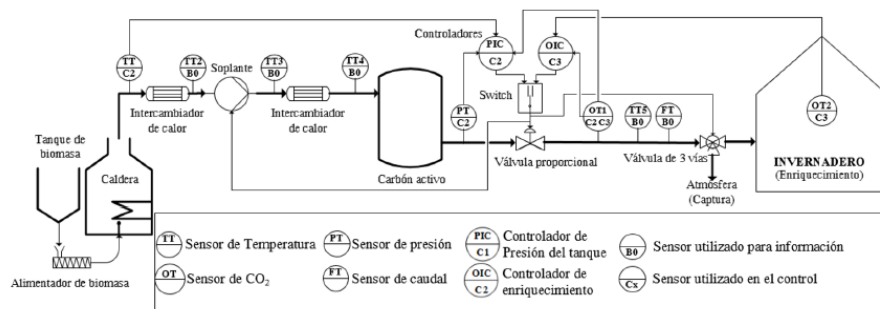
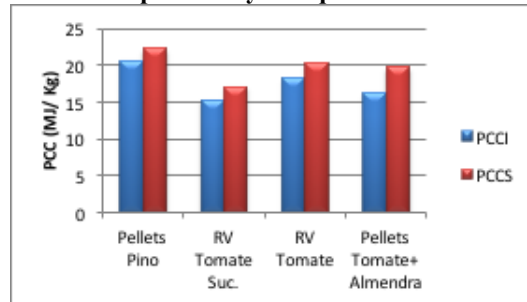


Figura 1. Esquema del sistema de recuperación y enriquecimiento de CO<sub>2</sub> junto a los lazos de control



Figuras 2. Poderes caloríficos de combustión inferiores y superiores (PCCS y PCCI) de las distintos tipos de biomasa analizados

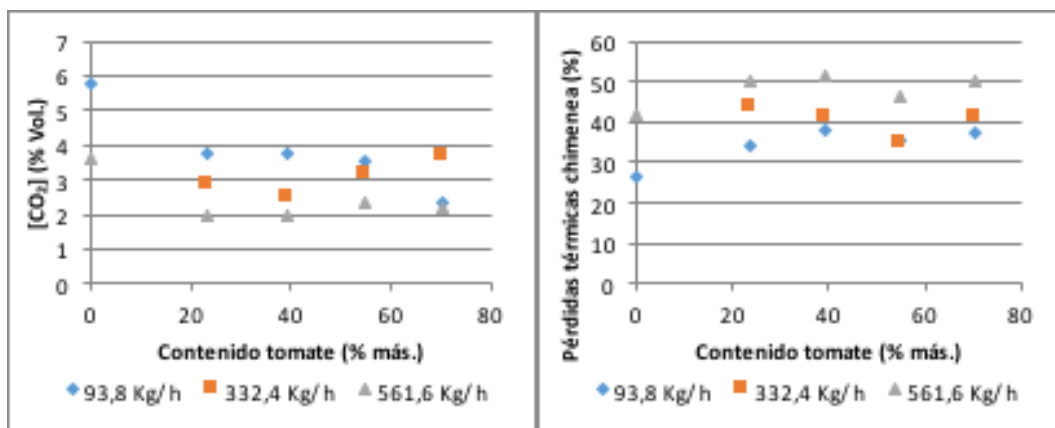


Figura 3. Concentración de CO<sub>2</sub> y Pérdidas térmicas halladas en los gases de combustión

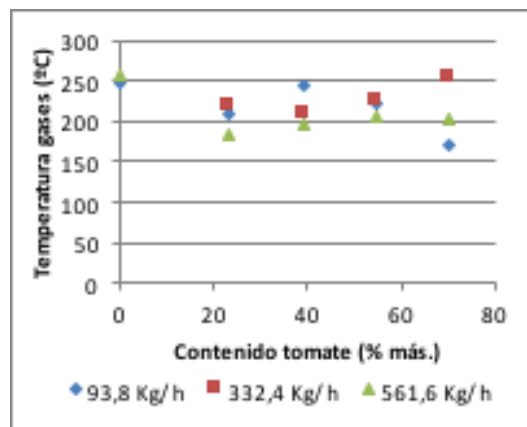


Figura 6. Temperatura de gases en chimenea obtenida