

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL ALPECHÍN DENSIFICADO

A. Ruiz Celma  
M. Tapia Delgado  
C. Hernández García

*Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales  
Universidad de Extremadura. Avda. Elvas s/n, 06071 Badajoz, España.*

F. Cuadros Blázquez  
*Departamento de Física Aplicada  
Universidad de Extremadura. Avda. Elvas s/n, 06071 Badajoz, España.*

F. López-Rodríguez  
*Departamento de Expresión Gráfica  
Universidad de Extremadura. Avda. Elvas s/n, 06071 Badajoz, España.*

### Resumen

En la actualidad, el precio de mercado del alpechín es nulo, e incluso en ocasiones implica un coste para la industria generadora, por lo que se aborda el estudio de la densificación de este producto concentrado, con objeto final de reducir los costes de manipulación y transporte, ampliando las posibilidades de utilización.

En este trabajo, muestras de alpechín, procedentes de una planta energética de tratamiento de alperujos, fueron peletizadas en gránulos de 6 mm de diámetro. El propósito del mismo es el análisis de las propiedades físico-químicas de los granulados de concentrado de alpechín obtenidos en laboratorio: densidad real y aparente, dureza, durabilidad y resistencia al agua, así como las variaciones en dichas características cuando intervienen en la composición de los pellets otros subproductos de la industria almazarera.

**Palabras clave:** alpechín; orujos; densificación;

## 1. Introducción

Los países del sur de la Unión Europea acaparan el mayor porcentaje en la producción mundial de aceite de oliva, sumando España, Italia, Grecia y Portugal aproximadamente el 70% de ésta, siendo los países mediterráneos no Comunitarios los que siguen en importancia. Una gran cantidad de residuos húmedos, alperujos, son generados anualmente por esta industria, favoreciéndose en los últimos años el desarrollo de plantas energéticas para su tratamiento y revalorización [1]. Tales instalaciones requieren una demanda simultánea de calor y electricidad, y por ello, los sistemas de cogeneración pueden resultar los más apropiados en ciertos casos.

La separación mecánica por centrifugación suele ser la primera operación en el tratamiento del alperujo. Por este proceso, la fase sólida –orujos- es separada de las líquidas –aceite y alpechín-, de tal forma que, a continuación, se diseñan procesos de tratamientos específicos para cada producto.

El orujo se compone de pulpa, hueso, aceite residual y agua en cantidades variables en el rango del 50-55% en peso y base húmeda. Una vez que su contenido en humedad ha sido reducido, los orujos se caracterizan por un poder calorífico en el rango de 18-22 MJ/kg, siendo vendido habitualmente como biocombustible para calderas. Por su parte, el alpechín se compone del agua vegetal de la aceituna y del agua utilizada en el proceso productivo, y contiene pulpa, mucílago, pectinas, sales minerales disueltas, etc. Una típica composición del alpechín es [2]: 83-96% de agua, 3.5-15% de sustancias orgánicas y 0.5-2% de sales minerales.

En la actualidad, la valoración económica del alpechín es ciertamente baja, por lo que se aborda el estudio de la densificación del concentrado de alpechín, con objeto de incrementar el valor en el mercado de este subproducto. Los granulados de alpechín son fabricados mediante una molienda previa, acondicionando el contenido en humedad y forzando al producto a través de las perforaciones de la matriz en el rango de 6 a 9 mm. El objetivo de este trabajo es el análisis de las propiedades físico-químicas de los granulados de alpechín obtenidos: densidad de partícula y aparente, dureza, durabilidad y resistencia al agua, así como las variaciones en dichas características cuando intervienen en la composición de los pellets otros subproductos de la industria almazarera.

## 2. Caracterización previa de los materiales empleados

### 2.1. Materiales

Las muestras de concentrado de alpechín y de orujos de aceituna fueron obtenidas de una planta de cogeneración de tratamiento de lodos, Troil Vegas Altas S.C. situada en el término municipal de Valdetorres (Badajoz). Las primeras presentaban un contenido en humedad inicial de  $22.93 \pm 0.50$  % en peso y base húmeda, mientras que el del orujo alcanzaba la cifra de  $7.97 \pm 0.50$  %. Tales valores se determinaron después de un proceso de secado a 105 °C durante cuatro horas, con un porcentaje de dispersión por debajo del 2% para las magnitudes del contenido en humedad en los tres experimentos llevados a cabo para cada material. Así, el valor final para el contenido en humedad inicial fue adoptado como la media aritmética de dichas magnitudes como establece la Norma UNE 32 001 [3].

## 2.2. Algunas características de interés energético y nutricionales

Una primera caracterización energética de los recursos objeto de interés viene definida por el poder calorífico y los resultados de los análisis inmediato y elemental. El poder calorífico puede ser determinado bien experimentalmente o bien empíricamente a partir de los resultados del análisis inmediato y/o elemental [4]. Los valores fueron obtenidos utilizando una bomba calorimétrica Parr 1351, conforme a la norma UNE 51 123, 86. Los porcentajes en peso de humedad, volátiles y cenizas, fueron estimados conforme a las normas UNE 32 001 [5], UNE 32 019 [6] y UNE 32 004[7], respectivamente; el porcentaje de carbono fijo fue obtenido por diferencia a cien.

El análisis elemental fue realizado en un analizador automático (LECO mod. CHNS-932), cuya operación se basa en el método de la conductividad térmica. La **tabla 1** muestra los valores experimentales determinados para esta caracterización, junto con la comparación con los resultados de otros investigadores.

	Orujos				Alpechín
	R.Celma in [1]	Ollero in [8]	Arvelakis in [9]	Jenkins in [10].	R.Celma in [1]
PCS <sub>exp</sub> (MJ kg <sup>-1</sup> )	17.80	17.7	21.2	21.59	24.51
PCI <sub>emp</sub> (MJ kg <sup>-1</sup> )	15.58	16.2			23.49
<i>Análisis inmediato (% en peso)</i>					
Carbono fijo	15.87	19.7	19.4	16.28	2.02
Volátiles	64.77	66.9	76.0	82.00	78.17
Cenizas	7.16	5.8	4.6	1.72	8.51
Humedad	12.20	7.6	9.5	-	11.30
<i>Análisis elemental (% en peso)</i>					
C	47.16	50	50.7	52.80	
H	5.62	6.5	5.89	6.69	
O	35.41	36.3	36.97	38.25	
N	4.48	0.8	1.36	0.45	
S	0.17	0.1	0.3	0.05	
Ash	7.16	5.8	4.6	1.72	

Tabla 1. Propiedades de interés energético del alpechín y orujos de aceituna

En la **Tabla 2** se indican los resultados de los análisis nutricionales previos realizados sobre las muestras de productos.

% en peso	Metodología	Concentrado de alpechín	Orujo de aceituna
Humedad	Gravimetría	13.86	8.54
Grasa	Soxhlet	10.89	0.62
Proteínas	Kjeldahl	4.06	5.15
Cenizas	Gravimetría	18.63	5.79
Hidratos de carbono	Cálculo	52.56	79.89

Tabla 2. Propiedades de interés nutricional del concentrado de alpechín y orujos de aceituna

### 3. Proceso de densificación

#### 3.1. Preparación de las muestras y distribución del tamaño de partículas

Antes de someter al producto al proceso de peletizado, los trozos del concentrado de alpechín inicial (de dimensiones irregulares), **fig.1**, fueron triturados en un molino de cuchillas (Euro tools, 220 V/1,5 kW/50 Hz, 2850 rpm y producción máxima de 150 kg/h). De igual forma, el orujo de aceituna también fue triturado en el mismo molino, con objeto de lograr una mejor homogeneización de las especies.



Fig.1. Aspecto del concentrado de alpechín y orujo en bruto.

La distribución del tamaño de partícula de las muestras de triturado de alpechín y orujos se determinó mediante una tamizadora de laboratorio (Retsch test sieve mod. AS 200). El proceso seguido es el siguiente [11]: una masa de 50 g de material es situada en el tamiz más alto de una serie de sucesivos tamices inferiores; en este caso, el rango de los tamaños de apertura se encuentra comprendido entre 3.15 mm y 0,25 mm. Durante un tiempo de 10 minutos se acciona la tamizadora, después del cual, la masa de material retenido en cada tamiz es anotado. Estos ensayos se llevaron a cabo por triplicado, presentándose en la **fig.2** la media aritmética de los resultados de la distribución del tamaño de partícula para ambos productos.

A continuación, se prepararon muestras suficientes con las siguientes proporciones en peso de residuos: 100% alpechín (S1), 75% alpechín y 25% orujos (S2), 50% alpechín y 50% orujos (S3), 25% alpechín y 75% orujos (S4), y por último 100% orujos (S5).

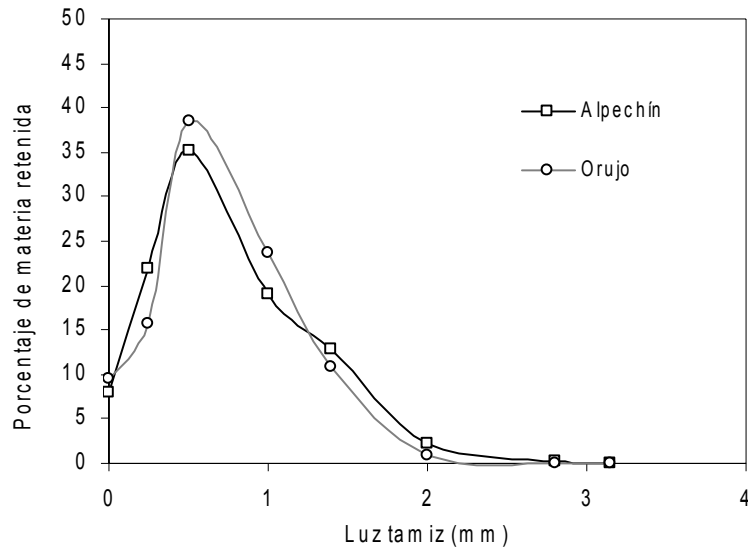


Fig.2. Distribución del tamaño de partículas del concentrado de alpechín y orujo.

### 3.2. Peletizado

Una peletizadora a escala de laboratorio (Euro tools, 380V/15 kW/50 Hz y producción máxima de 600 kg/h) fue utilizada para la fabricación de los pellets de alpechín objeto de estudio en este trabajo. En este caso, el elemento propio del peletizado es una prensa de matriz plana; el material, con una homogeneidad aceptable, se hace pasar a través de dicha matriz perforada ejerciendo presión gracias a la actuación de unos rodillos giratorios. En la **fig.3** se presentan las diferentes muestras de pellets fabricadas en el laboratorio.



Fig.3. Muestras S1 a S5 fabricadas en laboratorio.

## 4. Resultados

### 4.1. Densidad real y aparente

La densidad real de los pellets,  $\rho_r$ , se determinó en base al peso y volumen de los pequeños cilindros formados (todos de 6 mm de diámetro), repitiéndose por triplicado los cálculos y adoptando como valor final la media aritmética.

En cuanto a la densidad aparente de los pellets,  $\rho_a$ , ésta se evaluó como el cociente entre la medida de la masa de muestras que caben hasta un cierto nivel (después de una colocación irregular y unas agitaciones) en un recipiente de sección circular y el volumen de éste –en nuestros ensayos de 0,95 dm<sup>3</sup>-. Los resultados conseguidos se presentan en la **Tabla 1**.

Muestra	h (cm)	v (cm <sup>3</sup> )	m (g)	$P_r$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\rho_a$ (gr/cm <sup>3</sup> )	
S1	1,48	0,4185	0,5387	1,2873	1,34	0.64
	1,62	0,4580	0,6113	1,3346		
	1,46	0,4128	0,5729	1,3878		
S2	1,71	0,4835	0,5436	1,1243	1,17	0.62
	1,92	0,5429	0,6293	1,1592		
	1,72	0,4863	0,5927	1,2187		
S3	2,14	0,6051	0,7581	1,2529	1,22	0.62
	2,44	0,6899	0,8395	1,2169		
	2,10	0,5938	0,7072	1,1911		
S4	1,74	0,4920	0,5922	1,2037	1,19	0.60
	2,08	0,5881	0,7045	1,1979		
	1,88	0,5316	0,6231	1,1722		
S5	1,54	0,4354	0,5119	1,1756	1,19	0.59
	1,80	0,5089	0,6177	1,2137		
	1,83	0,5174	0,6117	1,1822		

Tabla 1. Densidad de partícula y aparente de los pellets.

### 4.2. Dureza y durabilidad

La eficacia de los enlaces interpartículas creados durante el proceso de densificación pueden ser medidos, aunque con matices, en términos de dureza y durabilidad de los pellets [12].

La resistencia a la compresión o dureza es la máxima carga que un pellet puede soportar antes de romperse. La dureza de los productos densificados se determina por la prueba de compresión diametral o test de resistencia a la compresión; en este trabajo se empleó un durómetro manual (Amandus Khal mod. 21465): un solo pellet se coloca entre dos planos aplicándole una carga progresivamente mayor hasta que la muestra rompa. El test de resistencia a la compresión intenta simular las fuerzas de compresión debido al peso de los pellets superiores sobre los inferiores, durante su manipulación y almacenamiento. En la **Tabla 2** se muestran los resultados conseguidos con el test de dureza, que fueron repetidos tres veces para cada especie.

Muestra	Contenido en humedad (%) en peso y b.h.	Carga de rotura (N)		PD (%)
S1	9.49	42.14	41.16	99.62
		40.18		
		41.16		
S2	10.24	39.20	40.18	98.94
		41.16		
		40.18		
S3	10.02	40.18	39.20	98.19
		39.20		
		38.22		
S4	8.11	37.24	37.89	92.12
		38.22		
		38.22		
S5	7.32	21.56	20.25	56.66
		19.60		
		19.60		

Tabla 2. Carga de rotura y durabilidad de los pellets analizados.

Adicionalmente, en la **fig.4** se representa la reducción del diámetro del pellet, de cada especie, frente a la fuerza aplicada en cada caso, hasta llegar a la rotura, que para estos subproductos densificados es una información de interés. En la gráfica se observa cómo la especie que presenta unas características más plásticas es la S1, compuesta exclusivamente de concentrado de alpechín. A medida que se va incrementando la proporción en peso de orujo en el pellet la reducción del diámetro es prácticamente inexistente hasta la rotura.

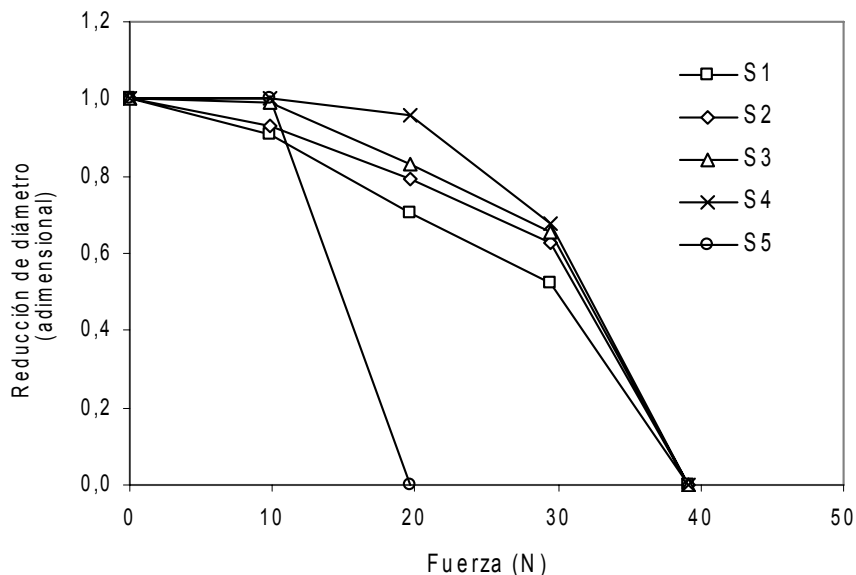


Fig.4. Reducción del diámetro del pellet vs fuerza aplicada.

Los test de durabilidad de los pellets intentan simular las condiciones de manipulación mecánica o neumática de los mismos. En la industria alimenticia, comúnmente, una

alta durabilidad implica mayor calidad de los pellets. En este estudio se ha aplicado el método de volteo para estimar el porcentaje de durabilidad de las muestras (Mabrik DBM 203); durante el volteo, los pellets se desgastan produciendo finos debido a los impactos -entre ellos y entre ellos y las paredes del recinto-. Después de un volteo de una carga de 500 g de pellets durante 10 minutos a 50 rpm, los pellets son tamizados utilizando un diámetro de tamaño aproximadamente 0,8 el diámetro inicial de los granulados. El porcentaje de durabilidad, PD (%) se calcula como el cociente entre el peso de las muestras después del volteo y el peso de las mismas antes del ensayo, multiplicado por 100.

Los resultados de porcentaje de durabilidad conseguidos para las especies S1 a S5 se presentan en la **Tabla 2**.

### 4.3. Resistencia al agua

Una exposición al agua de los pellets durante su manipulación y almacenamiento, debido a la lluvia, alta humedad relativa del aire ambiental, etc, puede afectar de forma negativa a las características de los mismos.

En este estudio, la resistencia al agua se evaluó como el porcentaje de agua absorbido por los granulados cuando se introducen en agua; en nuestro caso, cinco muestras de cada especie fueron sumergidas en un recipiente con agua a 27 °C durante 30 segundos. Los resultados logrados se representan en la **Tabla 3**.

Muestra	Humedad inicial* (%)	Humedad absorbida* (%)
S1	9.49	3.4
S2	10.24	3.7
S3	10.02	7.0
S4	8.11	8.6
S5	7.32	-

(\*) En peso y base húmeda.

Tabla 3. Resistencia al agua de las especies consideradas.

## 5. Conclusiones

Se han evaluado algunas de las características fisico-químicas del alpechín densificado y de otras especies en las que interviene, en distintas proporciones en peso, otro subproducto de la industria almazarera: los orujos.

De las muestras utilizadas para este trabajo, la especie formada por el concentrado de alpechín es la de mayor densidad real y aparente, con valores de 1,34 y 0,64 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente; a medida que se incrementa la proporción de orujo en la especie, se reducen estos valores, hasta alcanzar los 1,19 y 0,59 g/cm<sup>3</sup> para el caso de la especie 100% orujo. Los pellets de concentrado de alpechín puro alcanzaron la mayor carga de rotura, 41,16 N, reduciéndose progresivamente según se aumenta el contenido en orujo, hasta llegar a reducirse aproximadamente a la mitad para el caso de los pellets 100% de orujo. De igual forma, esta primera especie presenta los mejores valores del índice de durabilidad, 99,62%, y resistencia al agua, 3,4 % humedad absorbida.

Sin embargo, estas magnitudes deben considerarse con precaución, ya que la especie de concentrado de alpechín presenta unas características untuosas y plásticas, que si bien pueden ser las responsables de dichos resultados, por otra parte son las causantes de que estos granulados tiendan a deformarse con cierta facilidad –aunque sin romper-. Actualmente se continúan las investigaciones encaminadas a la mejora de algunas de las propiedades de las especies, dependiendo de cuál sea su utilización final.



## Referencias bibliográficas

- [1] Arvelakis S, Koukios EG. Physicochemical upgrading of agroresidues as feedstocks for energy production via thermochemical conversion methods. *Biomass and Bioenergy* 2002; **22**; 331-348.
- [2] Demirbaş A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. *Fuel* 1997; **76**; 431-434.
- [3] Guido Greco JR, Giuseppe Toscano, Mario Cioffi, Liliana Gianfreda, Filomena Sannino. (1999). Dephenolisation of olive mill waste-waters by olive husk. *Water Research*, 33, 3046-3050.
- [4] Jenkins BM, Baxter LL, Miles Jr TR, Miles TR. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology* 1998; **54**; 17-46.
- [5] Kaliyan N. and Vance Morey R. (2008). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33, 337-359.
- [6] Ollero P, Serrera A, Arjona R, Alcantarilla S. The CO<sub>2</sub> gasification kinetics of olive residue. *Biomass and Bioenergy* 2003; **24**; 151-161.
- [7] Ruiz Celma, A., Rojas, S. and López-Rodríguez, F. (2007). Waste-to-energy possibilities for industrial olive and grape by-products in Extremadura. *Biomass and Bioenergy*, 31, 522-534.
- [8] CEN/TS 15149-2. Solid biofuels. Methods for the determination of particle size distribution, 2003.
- [9] Norma Española UNE 32001. Hulla y antracita: determinación de la humedad total, 1981.
- [10] UNE 32 001 81. Hulla y antracita: determinación humedad total. 1981.
- [11] UNE 32 019 84. Combustibles minerales sólidos: determinación del contenido en materias volátiles. 1984.
- [12] UNE 32 004 84 4. Combustibles minerales sólidos: determinación de cenizas. 1984.

## Agradecimientos

Agradecimiento a la Consejería de Economía, Comercio e Innovación de la Junta de Extremadura por la financiación del Proyecto PDT 08A036 “Integración de instalación de *granulado de alpechín con secadero solar*”, de una de cuyas actividades se desprende el presente trabajo.

## **Correspondencia**

Antonio Ruiz Celma  
Escuela de Ingenierías Industriales  
Universidad de Extremadura  
Área de Máquinas y Motores Térmicos  
Avda. de Elvas s/n 06071 Badajoz  
Teléfono: +34 924 289 600  
Fax: +34 924 289 601  
E-mail: [antoniorcelma@gmail.com](mailto:antoniorcelma@gmail.com)