



Diseño de un sistema de adquisición de datos ambientales para deshidratador solar pasivo directo de orujo de aceituna

Design of an environmental data acquisition system for direct passive solar olive pomace dehydrator

Projeto de um sistema de aquisição de dados ambientais para desidratador solar passivo direto de bagaço de azeitona

José Cabrera Escobar^I

omar.cabrera@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0197-5163>

Carlos Bejarano Naula^{II}

cbejarano@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-1767-9239>

Gabriela Serrano Torres^{III}

gabriela.serrano@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0005-7448-7610>

Ángel Silva Conde^{IV}

alberto.silva@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1811-3340>

Correspondencia: omar.cabrera@unach.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 05 de enero de 2024 * **Aceptado:** 10 de enero de 2024 * **Publicado:** 26 de enero de 2024

- I. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
- II. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
- III. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
- IV. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.

Resumen

En este estudio, desarrollamos un avanzado sistema de adquisición de datos específicamente diseñado para un deshidratador solar pasivo directo, orientado a la desecación de orujo húmedo. Este sistema se ajusta a las condiciones climáticas específicas de Jaén, abordando la necesidad crítica de disminuir la humedad del orujo para potenciar su uso como recurso energético renovable, aprovechando su considerable potencial energético. El sistema se enfoca en el monitoreo continuo de variables clave como la temperatura, la humedad y la radiación solar, garantizando una eficiencia óptima en el proceso de deshidratación y contribuyendo significativamente a la valorización energética del orujo.

Palabras Clave: Deshidratación; orujo de aceituna húmedo; prototipo; solar.

Abstract

In this study, we developed an advanced data acquisition system specifically designed for a direct passive solar dehydrator, aimed at drying wet pomace. This system adjusts to the specific climatic conditions of Jaén, addressing the critical need to reduce the humidity of the pomace to enhance its use as a renewable energy resource, taking advantage of its considerable energy potential. The system focuses on the continuous monitoring of key variables such as temperature, humidity and solar radiation, guaranteeing optimal efficiency in the dehydration process and contributing significantly to the energy recovery of the pomace.

Keywords: Dehydration; moist olive pomace; prototype; solar.

Resumo

Neste estudo, desenvolvemos um sistema avançado de aquisição de dados projetado especificamente para um desidratador solar passivo direto, destinado à secagem de bagaço úmido. Este sistema adapta-se às condições climáticas específicas de Jaén, respondendo à necessidade crítica de reduzir a humidade do bagaço para potenciar a sua utilização como recurso energético renovável, aproveitando o seu considerável potencial energético. O sistema centra-se na monitorização contínua de variáveis-chave como temperatura, humidade e radiação solar, garantindo uma óptima eficiência no processo de desidratação e contribuindo significativamente para a recuperação energética do bagaço.

Palavras-chave: Desidratação; bagaço de azeitona úmido; protótipo; solar.

Introducción

El secado de alimentos es un proceso que alarga su vida útil y tiene un consumo energético (Amouiri & Belhamri, 2022), una fuente de esta energía es la energía solar que se puede aplicar directa o indirectamente (Barghi Jahromi et al., 2022), el secado solar es un proceso que se utiliza principalmente en los países mediterráneos (EL-Mesery, 2022).

La producción ha sufrido cambios importantes a lo largo de su historia. A medida que han ido surgiendo nuevos métodos de producción, también han aparecido distintos residuos o excedentes que suponen un problema desde el punto de vista medioambiental y una oportunidad desde el punto de vista energético.

Desde los años 1960, los métodos de extracción continua del aceite de oliva, conocidos como de tres fases o salidas, proporcionaban aceite, alpechín y orujo como productos con una humedad del 45% aprox, del cual se podía obtener un aceite llamado aceite de orujo. A partir de los años 90 se introduce un nuevo método en dos fases o salidas, cuyos productos son el aceite de oliva y el orujo de oliva húmedo (WOP). El orujo de oliva se produce en mayor cantidad que el alpechín debido a su elevada humedad (alrededor del 70%) y es más contaminante (Cruz-Peragón et al., 2006)(García-Maraver et al., 2012), se estima que por cada tonelada de aceituna procesada se producen 850 kg de WOP. (Ghilardi et al., 2020).

Estos residuos representan un grave problema ambiental, así como una gran oportunidad energética que puede ser aprovechada como biomasa. El método de dos fases es actualmente el más utilizado porque consume menos agua y energía (Pantziaros et al., 2021). Generalmente, este subproducto (separado del hueso de aceituna) se envía desde las almazaras a las plantas procesadoras, que se encargan de eliminar parte de su humedad mediante trómeles de secado y obtener el aceite que aún contiene separándolo con hexano. El aceite obtenido se denomina aceite de orujo y el resto se conoce como orujo, que contiene un 10% de humedad y tiene un poder calorífico de 4.500 kcal/kg en base seca.

En el ámbito de la ingeniería agrícola y energética, la deshidratación de subproductos agrícolas como el orujo de aceituna representa una oportunidad significativa para la valorización de residuos y la producción de energía renovable. En este contexto, el desarrollo de sistemas de adquisición de datos precisos y confiables es fundamental para optimizar los procesos de deshidratación utilizando energía solar, una fuente limpia y abundante

El principal objetivo de la investigación es desarrollar un sistema de adquisición de datos eficiente y efectivo para optimizar el funcionamiento de un deshidratador solar pasivo directo, aplicado a la desecación de orujo húmedo bajo las condiciones climáticas de Jaén. Este sistema busca reducir significativamente el contenido de humedad del orujo, con el fin de mejorar su viabilidad como fuente de energía renovable. Mediante el monitoreo preciso de variables críticas como la temperatura, la humedad ambiental y la radiación solar, la investigación se propone maximizar la eficiencia del proceso de deshidratación, asegurando así la transformación energética óptima del orujo y contribuyendo a la sostenibilidad energética.

1) Metodología

1.1 Sistema de adquisición de datos

Para evaluar el rendimiento del prototipo de secador solar se ha creado un sistema de monitorización en el prototipo. Este sistema puede realizar un seguimiento exhaustivo de la evolución de las condiciones ambientales y del interior del prototipo. Los parámetros para monitorear son: temperatura, humedad y radiación. La temperatura se mide en la parte superior e inferior del prototipo, tal como se puede ver en la Figura 1.

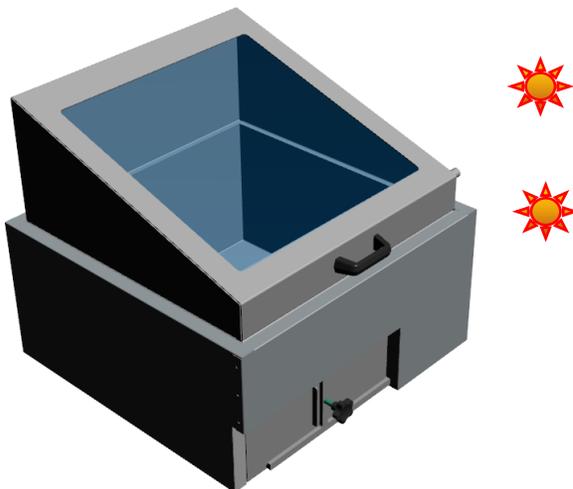


Figura 1. Sensores de temperatura y humedad en el prototipo.

El sistema de monitorización ha sido diseñado para funcionar de forma autónoma, obteniendo energía de un pequeño panel solar colocado cerca de la instalación. Para garantizar que este suministro eléctrico se mantenga durante la noche o en días nublados se ha incorporado una batería junto con un módulo de carga para la misma.

La información captada por los sensores se almacena en una SD y para evitar que el operador tenga que acceder al interior del prototipo para extraer esta información, liberando vapor de agua en la apertura de la cámara, se ha implementado un servidor de datos mediante un microcontrolador tiene conexión Wi-Fi, esta información estará disponible localmente a través de una PC conectada a la red Wi-Fi que crea el dispositivo.

2.2 Partes del sistema de seguimiento

El sistema consta principalmente de una unidad de control compuesta por un ESP32 SoC, sensores de humedad y temperatura, correntímetro para la celda calibrada que mide la radiación solar, RTC (reloj en tiempo real) y gestión de carga de batería.

- **Unidad de control:** se ha seleccionado el microcontrolador ESP32 de la empresa Espressif Systems, ya que es un circuito integrado que combina los protocolos Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4GHz en un solo lugar, priorizando el bajo consumo energético utilizando tecnología de 40nm. El consumo de este dispositivo es de 50mA en modo normal, 150mA cuando se utiliza la red Wi-Fi y 7uA en modo suspensión, en la Figura 2, se puede observar el diagrama de bloques funcional del microcontrolador.

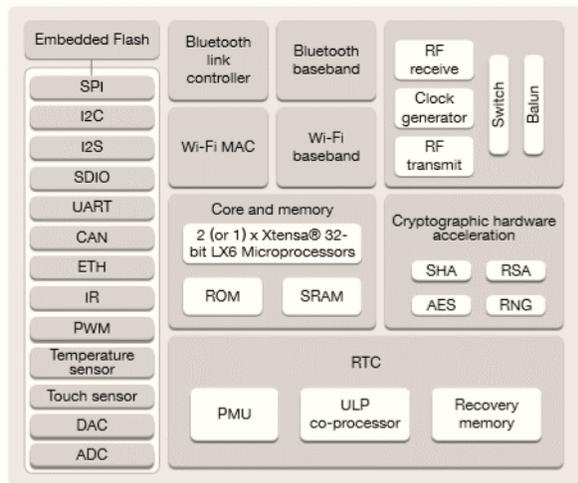


Figura 2. Diagrama de bloques funcional del microcontrolador.

- **RTC:** para asegurar que las medidas se están realizando en periodos de tiempo regulares, se ha incorporado DS3231, que genera una señal de reloj que se utiliza para mantener las medidas realizadas sincronizadas con la hora local. El módulo tiene una batería CR2032 que permite mantener el tiempo del sistema en caso de un corte de energía o falla interna del sistema.

Este dispositivo tiene la posibilidad de programar diferentes alarmas, que al activarse envían un pulso que puede despertar el sistema desde el modo de bajo consumo. El sistema de adquisición ha sido programado para realizar mediciones cada 10 minutos, cambiando el sistema a modo de bajo consumo entre mediciones, considerando que los parámetros a medir varían gradualmente, en la Figura 3, se puede observar el esquema de reloj en tiempo real con pila de botón

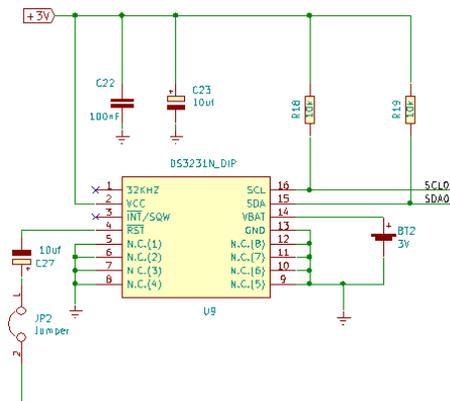


Figura 3. Esquema de reloj en tiempo real con pila de botón

- **Memoria SD interna:** el almacenamiento de datos se realiza en la tarjeta de memoria SD. El contenido de este es accesible a través de un servidor de datos vía Wi-Fi. Para acelerar la escritura y lectura de datos se ha implementado el protocolo SDMMC, que permite utilizar el modo de 4 bits del protocolo SPI (hasta 100 Mbit/s) del modo de 1 bit (hasta 25 Mbit/s), lo que considerablemente reduce y aumenta la velocidad.

Al inicio de cada día se crea un archivo diferente con la fecha correspondiente, con esta acción se evita la corrupción de los datos del sistema, pudiendo recuperar las medidas anteriores en caso de corrupción de un archivo, en la Figura 4, se puede observar el esquema de conexión de tarjeta microSD en modo 4btis

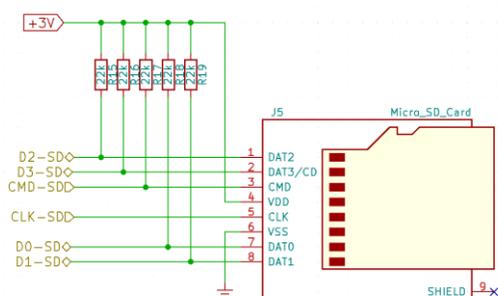


Figura 4. Esquema de conexión de tarjeta microSD en modo 4btis

- **Sensores incorporados al prototipo:** La monitorización de los parámetros de temperatura y humedad se realiza mediante módulos HTU21, mientras que la irradiación solar se obtiene de una célula compensada calibrada de la empresa Atersa , que utiliza el protocolo industrial 4-20mA. Para medir las intensidades de este protocolo se ha incorporado el molinete ina219 que tiene una presión de 12 bits. Tanto HTU21 como ina219 utilizan el protocolo de comunicaciones I2C, en la Figura 5, se puede observar el medidor de intensidad basado en el ina219.

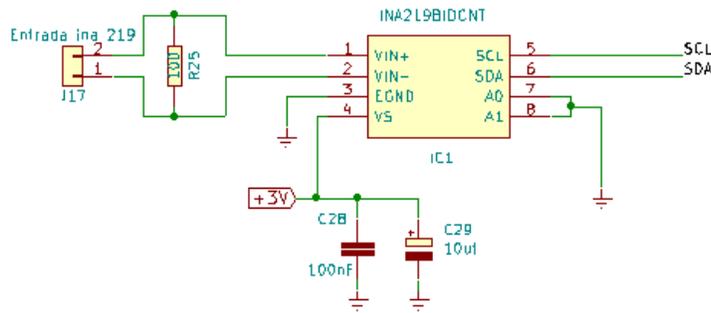


Figura 5. Medidor de intensidad basado en el ina219.

El problema de esta implementación es que los sensores de temperatura vienen con la misma dirección de acceso a datos de fábrica, por lo que para poder conectar varios dispositivos a la vez ha sido necesario incorporar un demultiplexor. En nuestro caso de 8 canales, por si en un futuro es necesario incorporar más dispositivos con el mismo problema. En la Figura 6, se muestra el esquema seguido.

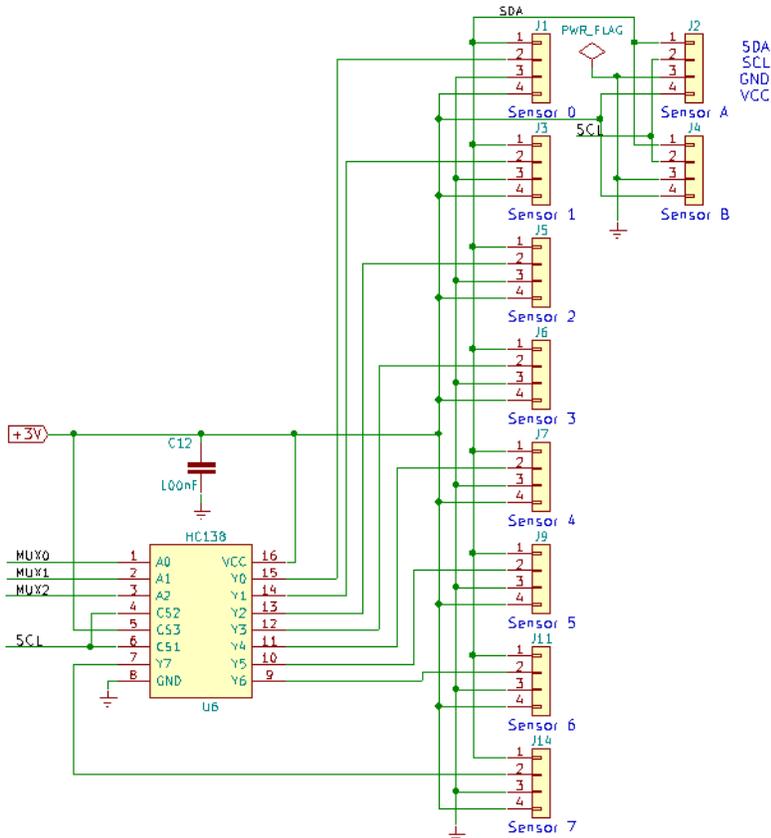


Figura 6. Demultiplexor para conectar múltiples sensores I2C

- **Alimentación:** todos los elementos del sistema funcionan a 5V y pueden obtener esta alimentación de la batería o utilizando uno de los puertos mini-USB del sistema.

Uno de ellos se utiliza para la depuración del software y otro para la carga de la batería, esta carga también se puede realizar mediante un panel solar de 6V conectado al sistema.

La batería seleccionada es del tipo 18650, por su alta capacidad y facilidad de suministro en caso de avería. Se trata de una batería de iones de litio, cargada y gestionada por el descargador integrado TP4056, junto con el sistema de protección contra cortocircuitos proporcionado por el FS312F-G integrado. Ambos incluidos en el módulo de carga.

2.3 Análisis experimental de errores e incertidumbres.

Se utilizó la ley de prevalencia de Gauss para calcular la incertidumbre experimental, donde se utiliza la ecuación (1) para calcular la incertidumbre.

$$m_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial n_1} m_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial n_2} m_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial n_n} m_n\right)^2} \text{ (uno)}$$

Tabla 1. Análisis de precisión de los instrumentos utilizados.

Equipo	parámetros	Exactitud	incertidumbre valor	Rango
Calibrado celda 4-20mA compensada	Radiación solar m2	± 2,5% o ±5,477 W/m2	7W/m2	0-1200W/m2
HTU21D Humedad relativa	Humedad relativa (%)	±2% HR	±2% HR	0-100% HR
HTU21D Temperatura	Temperatura °C	± 0,3°C	± 0,3°C	-40°C a 125°C _

2) Resultados y discusión

3.1 Caracterización del sistema a través del sistema electrónico.

El proceso de secado se realizó durante los días 02 al 14 de febrero de 2021, coincidiendo con el final de la campaña de recolección de aceituna, en las Figura 7, Figura 8 y Figura 9, se puede ver las variables de temperatura, humedad y radiación respectivamente.

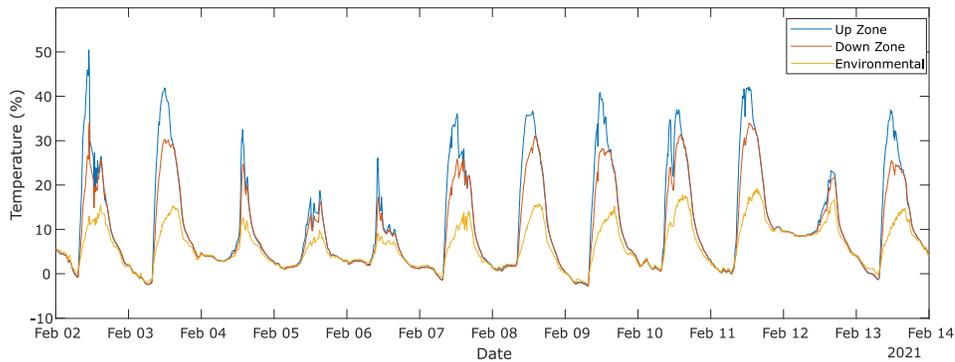


Figura 7. Temperaturas durante el periodo especificado.

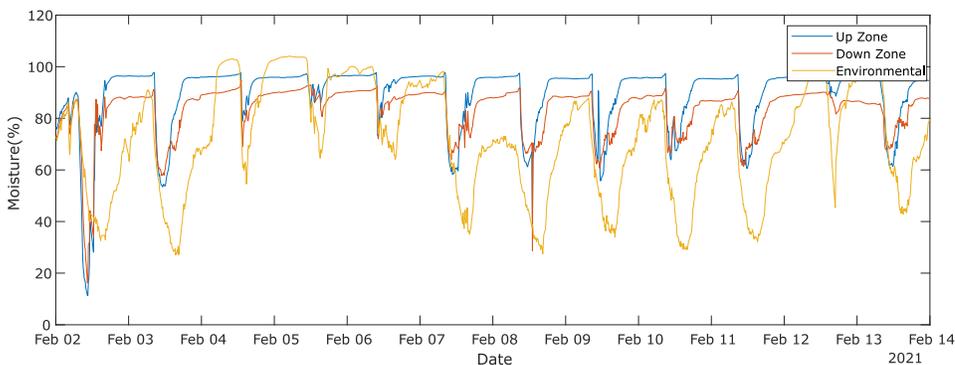


Figura 8. Evolución de la humedad durante el periodo especificado.

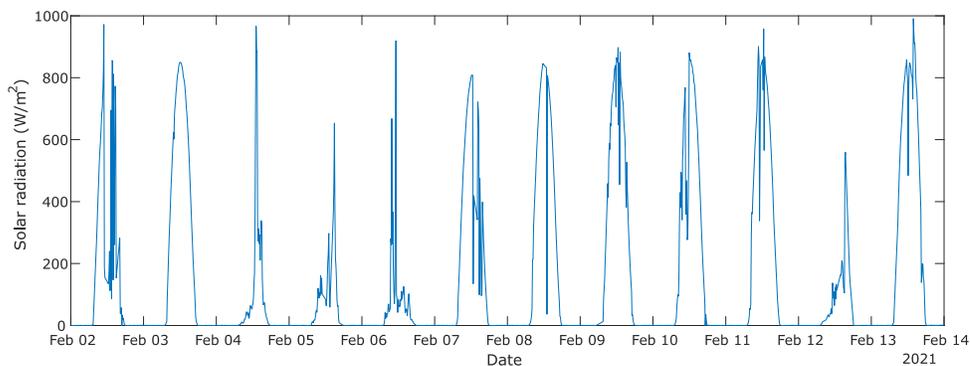


Figura 9. Evolución de la radiación directa durante el período especificado.

El hardware de adquisición de datos, una vez ensamblado con todos los componentes electrónicos, quedó como se muestra en la Figura 10, y se colocó junto al prototipo metálico dentro de una caja sellada. Los sensores, por su parte, fueron colocados en cajas de plástico que permiten medir temperatura y humedad, con una protección que evita la condensación.

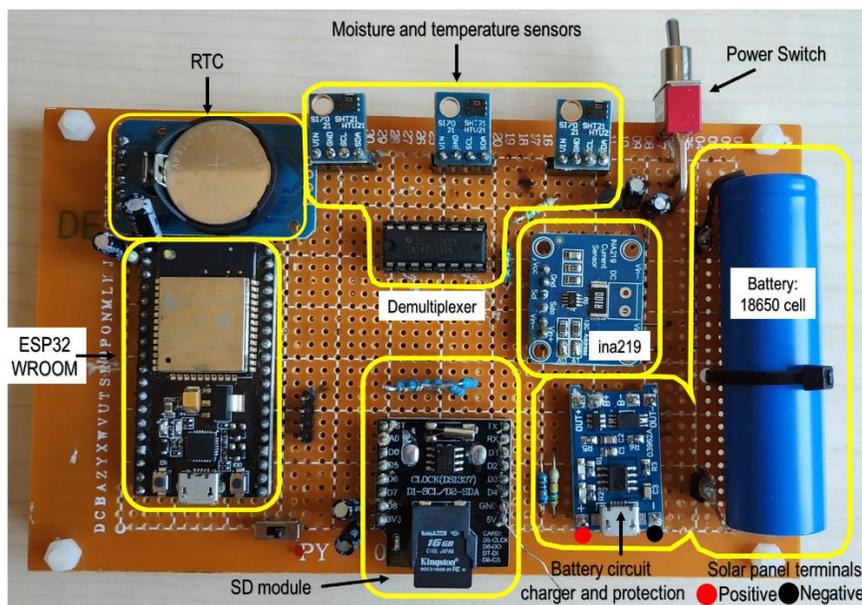


Figura 10. Hardware diseñado para esta aplicación.

5. Conclusiones

El sistema de adquisición de datos desarrollado ha demostrado ser eficiente y efectivo para monitorear variables clave como temperatura, humedad y radiación solar en un deshidratador solar pasivo directo de orujo de aceituna.

La optimización del proceso de deshidratación del orujo húmedo bajo las condiciones climáticas específicas de Jaén ha sido exitosa, contribuyendo a mejorar la viabilidad del orujo como fuente de energía renovable.

La maximización de la eficiencia del proceso de deshidratación a través de la monitorización precisa de variables críticas ha sido fundamental para asegurar una transformación energética óptima del orujo.

El sistema de adquisición de datos ha facilitado la sostenibilidad energética al mejorar la eficiencia en el uso del orujo como recurso energético renovable.

Se destaca la importancia de la tecnología de monitoreo continuo en el sector de deshidratación de alimentos, especialmente en el contexto de la producción de aceitunas y el aprovechamiento de subproductos como el orujo.

Referencias

- Amouiri, R., & Belhamri, A. (2022). CFD investigations on the behavior of a solar dryer used for medicinal herbs dehydration under climatic conditions of Constantine, Algeria. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2123–2130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.475>
- Barghi Jahromi, M. S., Kalantar, V., Samimi Akhijahani, H., & Kargarsharifabad, H. (2022). Recent progress on solar cabinet dryers for agricultural products equipped with energy storage using phase change materials. *Journal of Energy Storage*, 51, 104434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104434>
- Cruz-Peragón, F., Palomar, J., & Ortega, A. (2006). Ciclo energético integral del sector oleícola en la provincia de Jaén(España). *Grasas y Aceites*, 57(2), 219–228.
- EL-Mesery, H. S. (2022). Improving the thermal efficiency and energy consumption of convective dryer using various energy sources for tomato drying. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 10245–10261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.03.076>
- García-Maraver, A., Zamorano, M., Ramos-Ridao, A., & Díaz, L. F. (2012). Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 745–751. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.040>

- Ghilardi, C., Sanmartin Negrete, P., Carelli, A. A., & Borroni, V. (2020). Evaluation of olive mill waste as substrate for carotenoid production by *Rhodotorula mucilaginosa*. *Bioresources and Bioprocessing*, 7(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s40643-020-00341-7>
- Pantziaros, A. G., Trachili, X. A., Zentelis, A. D., Sygouni, V., & Paraskeva, C. A. (2021). A new olive oil production scheme with almost zero wastes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(2), 547–557. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00625-0>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).