

# **DISPOSITIVO DE BAJO COSTO PARA MONITOREO Y REGISTRO DE DATOS PARA UN SECADOR SOLAR**

## *LOW COST DEVICE FOR MONITORING AND REGISTERING DATA FOR A SOLAR DRYER*

**Juan Quintanar Olguín**  
CE San Martinito–CIRGOC-INIFAP  
*quintanar.juanl@inifap.gob.mx*

**Alan Giovanni Quintanar Sandoval**  
Particular  
*nfs\_x029l@outlook.com*

### **Resumen**

La finalidad del artículo es mostrar la elaboración de un dispositivo para monitorear y registrar los datos de temperatura y humedad relativa dentro de un secador solar, utilizando una plataforma electrónica de bajo costo y de código abierto (Open-Source) Arduino Mega 2560, utilizando software libre; complementado con la recepción de información a través de sensores digitales DHT22 de las variables de temperatura y humedad relativa al interior del secador. El dispositivo propuesto de monitoreo y adquisición de datos electrónicos muestra ser exacto y fiable, constituyendo una alternativa rentable respecto a los dispositivos disponibles en el mercado.

**Palabra(s) Clave:** Dispositivo, humedad, temperatura, secador solar.

### **Abstract**

*The purpose of the article is to show the elaboration of a device to monitor and record the data of temperature and relative humidity inside a solar dryer, using a low cost and open source electronic platform (Open-Source) Arduino Mega 2560, using software free; complemented with the reception of information through DHT22 digital sensors of the variables of temperature and relative humidity inside the dryer. The proposed device for monitoring and acquisition of electronic data is*

*accurate and reliable, constituting a cost-effective alternative to the devices available in the market.*

**Keywords:** *Device, humidity, temperature, solar dryer.*

## **1. Introducción**

La aplicación de la tecnología de secado solar en el área agrícola para preservar verduras, frutas y otros cultivos ha demostrado ser práctica, económica y ecológica. Dicha tecnología está disponible en una amplia gama de tamaños y diseños, por lo tanto, la selección de los secadores para una situación particular se basa en gran medida en lo que está disponible [Prakash and Kumar, 2014]. Por un lado, la tecnología de secado es un importante consumidor de energía [Dufour, 2006] y por otro, la operación y toma de decisiones en la mayoría de los sistemas de secado aún se guía por recetas y reglas totalmente empíricas [Correa-Hernando *et al*, 2011].

Así, la mayor parte de la investigación en secado aún se centra en la comprensión de los mecanismos de secado y la calidad del producto, pero muy poco en el control de la operación en sí. Por lo tanto, no es sorprendente ver relativamente pocos trabajos publicados que se ocupan de los aspectos de control en el secado [Dufour, 2006], especialmente en el desarrollo de nuevos dispositivos para realizar aplicaciones de uso común que permitan cubrir una necesidad en la sociedad [Ruiz *et al*, 2016].

Aun cuando los avances en electrónica son inmensos y el mercado está saturado de instrumentos y sensores que permiten tomar y almacenar datos, éstos no suelen ser nada económicos. Por lo que aún sigue existiendo la necesidad de disponer de aparatos que recopilen y almacenen información a bajo costo, que puedan ser accesibles a productores, investigadores o estudiantes con bajo presupuesto [Azúa-Barrón *et al*, 2017; Becerra *et al*, 2017].

Arduino es una plataforma electrónica libre diseñada para la creación de prototipos, basada en software y hardware flexible que permite realizar proyectos en forma rápida, sencilla y a costos accesibles [Vázquez *et al*, 2014; Azúa-Barrón *et al*, 2017 y Zetina *et al*, 2017]. Becerra *et al* (2017) lograron la implementación de

un sistema de adquisición de datos, utilizando hardware y software libre y un sensor dentro de un invernadero, almacenando los datos de temperatura y humedad obtenidos en un servidor dentro de una red local.

Mediante el uso de esta plataforma, es posible el desarrollo de tecnología propia para la automatización de secadores solares en México, lo que representa un ahorro de costos en el desarrollo y adaptación de sensores electrónicos, con la gran ventaja de poder ser calibrados con las especificaciones del material a secar y construirlos con materiales comunes y accesibles. Hay una gran cantidad de sensores que funcionan a bajos voltajes y emiten señales compatibles con microcontroladores, incluidos voltajes analógicos, frecuencias variables y una selección de protocolos de comunicaciones digitales [Fisher and Gould, 2012].

Aunque hoy en día la tendencia es hacia la utilización de sensores y aparatos inalámbricos [Postolache *et al.*, 2012], aún hay situaciones donde es más conveniente utilizar sensores tradicionales y de bajo costo, como el caso donde se requiere censar ambientes especiales para el análisis térmico de un secador solar, además de no tener pérdidas significativas de voltaje [Azúa-Barrón *et al.*, 2017].

Los sensores de bajo costo son los más adecuados para la supervisión y el control de los secadores solares, y se pueden actualizar fácilmente mediante la inclusión de capacidades inteligentes, para mejorar activamente la calidad del diseño del secador solar [Correa-Hernando *et al.*, 2011].

La medición de la temperatura y la humedad relativa (HR) del aire son componentes esenciales del proceso de secado solar. Por esta razón, se desea implementar un dispositivo cuyas capacidades fundamentales sean la adquisición y almacenamiento de datos de magnitudes físicas: temperatura y humedad relativas, para su posterior análisis en la gestión del proceso de secado solar, pero que sea de fácil implementación y bajo costo.

## **2. Métodos**

El dispositivo consiste en dos partes principales: el sistema electrónico que recibe y almacena los datos, y los sensores de medición instalados dentro del secador solar.

El dispositivo desarrollado se basa en una plataforma ARDUINO MEGA-2560, y los sensores de temperatura y humedad relativa se incluyen en el dispositivo comercial DHT22, que es un sensor de bajo costo con una interfaz digital. Además, se incorporó un módulo lector de tarjetas SD arduino y una memoria SD de 8 GB de memoria donde se graban los datos.

### **Los componentes y sus características**

El dispositivo base consta de las funcionalidades indispensables para un equipo de medición en el secador, esto es, que sea capaz de medir las variables de interés y almacenarlas en una tarjeta de memoria SD fácilmente extraíble y reemplazable:

- **Placa Principal.** La tarjeta Arduino es una opción económica de uso muy difundido entre aficionados y expertos en electrónica, tiene buen equilibrio entre los recursos disponibles (procesamiento y memoria) y consumo energético. Una gran fortaleza del Arduino es el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) multiplataforma, con interfaz de programación C++ simplificada que aprovecha las colecciones de gran cantidad de códigos sin necesidad de utilizar los detalles del nivel bajo para implementaciones de casos comunes [Beddows and Mallon, 2018]. Además, la mayoría de shields presentes en el mercado son compatibles, por lo que, una de sus principales aplicaciones es en la medición de variables físicas, utilizando la gran cantidad de sensores analógicos disponibles para esta plataforma [Lugo *et al*, 2014; Bañuelos, 2017].

Características técnicas de la tarjeta ARDUINO MEGA-2560:

- ✓ Microcontrolador: ATmega2560.
- ✓ Voltaje necesario: 5 V.
- ✓ Voltaje de entrada: 7-12 V.
- ✓ Voltaje de entrada (límite): 6-20 V.
- ✓ Pines I/O Digitales: 54 (14 son salidas PWM).
- ✓ Pines Analógicos de entrada: 16.
- ✓ Corriente DC por I/O pin: 40 mA.

- ✓ Corriente DC por 3.3V pin: 50 mA.
  - ✓ Memoria Flash: 256 kB.
  - ✓ SRAM: 8 kB.
  - ✓ EEPROM: 4 kB.
  - ✓ Velocidad del reloj: 16 MHz.
  - ✓ Tamaño: Longitud 101.52 mm, Ancho: 53.3 mm y un peso de 37 g.
- **Sensor de temperatura y humedad.** Para el registro de las variables temperatura y humedad relativa, se utilizó el sensor digital DHT22 que es un sensor de bajo costo con una interfaz digital, que usa un protocolo de comunicación serial propio y solo utiliza una conexión de uno de sus pines, compatible con librerías desarrolladas en Arduino. El sensor ya viene calibrado y no requiere componentes adicionales, por lo que basta con conectarlo para comenzar a tomar mediciones de humedad relativa y temperatura.

Características técnicas del sensor DHT22:

- ✓ Voltaje de alimentación: 3.3–5.5 V.
  - ✓ Corriente durante medición: 1–1.5 mA
  - ✓ Corriente en modo espera: 40–50  $\mu$ A
  - ✓ Valores de humedad: 0 y 100%, con una precisión de 2%.
  - ✓ Rango de temperatura: -40 a 80 °C, con +/- 0.5 °C de precisión
  - ✓ Intervalo mínimo entre muestras: 2 segundos.
- **Shields.** Una vez que el dispositivo ha leído los datos de temperatura y humedad relativa del sensor, se requiere algún dispositivo de almacenamiento para su posterior uso. Para este fin, la plataforma Arduino también cuenta con una serie de Shields (módulos) que pueden ser conectados a la tarjeta para incrementar el número de funcionalidades disponibles, como sería un Shield o modulo lector de tarjetas SD (seguridad digital) que puede alojar una memoria micro SD con capacidad de 2 a 32 GB donde son grabados los datos en formato numérico y factibles de exportar a una hoja de cálculo como Excel [Vázquez *et al*, 2014].

## **Desarrollo del programa**

Para realizar la programación del Arduino, es necesario usar una computadora, no requiere de altas prestaciones y el software o programas de cómputo necesarios se encuentran disponibles en la red de manera gratuita (<https://www.arduino.cc/en/main/software>)

El lenguaje de programación arduino se basa en C/C++ como se indica en el sitio oficial y se cuenta con una gran cantidad de librerías que son de libre acceso y facilitan mucho la tarea de programación.

El dispositivo desarrollado se programó para censar las variables cada 15 minutos y mantener los sensores en modo espera cuando no se realiza la medición, la placa Arduino se mantiene energizada todo el tiempo, utilizando una batería LiPo recargable de 1500 mAh para tener autonomía en la operación del dispositivo.

## **3. Resultados**

Se verificó que el dispositivo funcionara adecuadamente en un periodo de 12 h, colocando 9 sensores al interior de un secador solar tipo invernadero y uno al exterior como testigo de las condiciones ambientales del lugar y posteriormente se descargaron los datos de la memoria a un computador.

El objetivo de esta prueba es mostrar la efectividad del dispositivo como herramienta para censar temperatura y humedad relativa y en forma general ver su capacidad para leer y almacenar datos. La figura 1 muestra el comportamiento de las temperaturas de la cámara, absorvedor y medio ambiente monitoreadas con el dispositivo desarrollado, durante un día de prueba.

Así, este dispositivo es de fácil construcción y apoyado en los recursos que gratuitamente comparte la comunidad de Arduino resulta muy fácil su reprogramación. Logrando un balance entre construcción, programación, memoria, funcionalidad y costo. Siendo muy factible de considerar a Arduino como una plataforma válida para el desarrollo de instrumental de monitoreo para la medición y registro de datos, aumentando su factibilidad con la creciente disponibilidad creciente de módulos y sensores fácilmente integrables [Vázquez *et al*, 2014; López *et al*. 2017 y Azúa-Barrón *et al*, 2017].

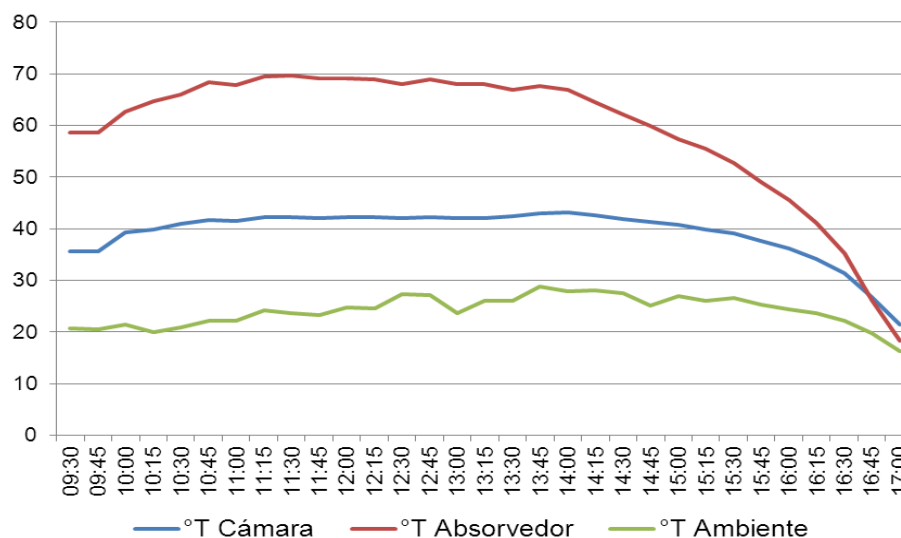


Figura 1 Comportamiento de las temperaturas de la cámara, absorvedor y medio ambiente, registradas por tres sensores del dispositivo desarrollado.

#### 4. Discusión

Ante los avances actuales en la tecnología electrónica, que han dado lugar al surgimiento de microcontroladores, sensores y variados componentes de bajo costo para la medición, registro y transmisión de diversas variables climáticas, aunado a la existencia de plataformas de hardware libre, que distribuyen sus diseños y software bajo licencias sin costo, permitiendo su uso y modificación, es factible la integración y desarrollo de dispositivos de medición apropiados a diversos usos, como es el monitoreo de variables fundamentales en el proceso de secado y deshidratación de productos alimenticios.

El dispositivo propuesto de monitoreo y adquisición de datos electrónicos basado en Arduino, ha mostrado ser exacto y fiable, constituyendo una alternativa rentable respecto a los dispositivos encontrados en el mercado. La disminución en el costo de instalación de un secador solar con este dispositivo de seguimiento del proceso de secado es necesaria, concordando con lo expuesto por [Zetina, 2017], en relación con los costos para instalación y monitoreo de invernaderos. Además, utilizar este tipo de sensores se convierten en “inteligentes”, ya que generan información apropiada para estimar otros parámetros más complejos del proceso de secado [Correa-Hernando *et al*, 2011], como la velocidad de secado y la

humedad del producto en tiempo real. Además, los resultados indican que las condiciones internas en el secador solar deben ser consideradas heterogéneas, lo que implica que, para una evaluación de las condiciones reales de secado existentes al interior del secador, deben realizarse mediciones de temperatura y humedad relativa en diferentes puntos del secador a diferentes alturas: ras de suelo, medio y superior, como lo proponen López-Martínez *et al*, [2018], lo que se realizó en este estudio, al conectar 9 sensores al interior del secador: 4 para determinar las condiciones en la cámara de secado, 3 en el área de absorción solar y 2 para determinar las condiciones de temperatura y humedad relativa en las zonas de intercambio cámara-absorvedor y absorvedor-cámara (Quintanar, 2017). Con lo cual es factible determinar de forma precisa la eficiencia térmica del secador solar y su capacidad para evaporar humedad al secar o deshidratar diferentes alimentos provenientes de productos agrícolas.

En conclusión, es factible construir un dispositivo para el monitoreo y registro de datos dentro de un secador solar a bajo costo basado en la plataforma Arduino, con sólo tener conocimientos básicos de programación y electrónica y utilizando los diferentes dispositivos que se encuentran en el mercado a precios accesibles.

## **5. Pares Revisores**

### **Revisor 1**

Nombre: Obed Cortés Aburto  
Institución: Universidad Politécnica de Puebla  
Cédula Profesional:  
Área de conocimiento: Ingeniería Mecatrónica  
Correo electrónico: Obed.cortes@uppuebla.edu.mx

### **Revisor 2**

Nombre: Rafael Lemuz López  
Institución: Universidad Politécnica de Puebla  
Cédula Profesional: 6331554  
Área de conocimiento: Procesamiento y Análisis de información Multivariable.  
Correo electrónico: rafalemuz@gmail.com  
Teléfono: 222 118 1652



## 6. Bibliografía y Referencias

- [1] Azúa-Barrón, M., M. A. Vázquez-Peña, R. Arteaga-Ramírez y R. Hernández-Saucedo. 2017. Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma Arduino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(1):1-12.
- [2] Bañuelos S., M. A. 2017. Comparación de tarjetas Arduino uno originales y clones como instrumento de medición. *Pistas Educativas* 128:179-190.
- [3] Becerra W., F.J.; A. Gárate G.; T. A. Ramírez R. y E. J. Álvarez S. Sistema de adquisición de datos de bajo costo para un invernadero basado en tecnología de acceso libre. *Pistas Educativas* 128:207-218.
- [4] Beddows, P. A. and E. K. Mallon. 2018. Cave pearl data logger: A flexible Arduino-based logging platform for long-Term monitoring in harsh environments. *Sensors* 18, 530: 26p. DOI:10.3390/s1802053.
- [5] Correa-Hernando E., F. J. Arranz, B. Diezma, E. Julia, J.I. Robla, L Ruiz-Garcia, J. García-Hierro and P. Barreiro. 2011. Development of model based sensors for the supervision of a solar dryer. *Computers and electronics in agriculture* 78(2):167-175.
- [6] Dufour, P. 2006. Control engineering in drying technology: Review and trends. *Drying Technology* 24 (7):889-904.
- [7] Fisher, D. K. and P. J. Gould. 2012. Open-source hardware is a low-cost alternative for scientific instrumentation and research. *Modern instrumentation* 1:8-20.
- [8] López E., C. Vionnet, G. Contini, M. Pérez E. y R. Manzo. 2017. Desarrollo de una estación de medición agroclimática con hardware libre. *Memorias CAI-9no. Congreso Argentino de AgroInformática (46 JAIIO)*. 70-83 p. Córdoba. Argentina.
- [9] Lugo, E.O., Villavicencio, P.G.A., Díaz L.S.A. 2014. Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con uso de hardware y software libre. *Tierra Latinoamericana* 32(1):77-84.
- [10] Postolache, O.; Pereira, J. D. and Girão, P. M. 2012. Greenhouses microclimate real-time monitoring based on a wireless sensor network and GIS. In: *XX IMEKO world congress methodology for green growth* 1:1-5.

- [11] López-Martínez J., J. L. Blanco-Claraco, J. Pérez-Alonso and Ángel J. Callejón-Ferre. 2018. Distributed network for measuring climatic parameters in heterogeneous environments: Application in a greenhouse. *Computers and electronics in agriculture* 145(2):105-121.
- [12] Prakash, O. and A. Kumar. 2014. Historical review and recent trends in solar drying systems. *International Journal of Green Energy* 10(7):690-738.
- [13] Quintanar O. J. 2017. Evaluación del perfil de temperaturas en un secador solar activo tipo invernadero. *CONAMTI* 4(1):67-71.
- [14] Ruiz O., F. J.; M. E. Rodríguez T.; K. Esquivel M.; J. L. Ibarra C. y A. Méndez B. 2016. Diseño e implementación de software y hardware para el telecontrol de bioespacios con Arduino. *Pistas Educativas* 122:408-418.
- [15] Vázquez, R.; Robledo, A.; Toledo, P.; Mason, L.; Mariguetti, J. y Canali, L. 2014. Desarrollo de un procedimiento para construir un datalogger de bajo presupuesto utilizando un dispositivo genérico. In: *II Jornada de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes*. Argentina. 543 p.
- [16] Zetina C. P.; B. Nagel S.; I. Morales P., R. Tablas R.; E. Reynoso G., R. Delavequia C. y G. Demenegui C. 2017. Prototipo de invernadero para producción de rosas automatizado con arduino. In: *Libro electrónico: La agricultura sostenible como base para los agronegocios*. Universidad autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, SLP.