

Propuesta de un sistema de control para un secador de cebolla basado en ventilación de aire caliente

Proposal of control system for an onion dryer based on hot air ventilation

Carolina Batista, Bachelor¹, Hector Riande, Bachelor¹, Edwin Collado, PhD^{1,2}, César Almanza, MSc¹ and Yessica Sáez, PhD^{1,2,*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {carolina.batista, hector.riande, edwin.collado, cesar.almanza, yessica.saez}@utp.ac.pa

²Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP), Panamá

*Autor de correspondencia: yessica.saez@utp.ac.pa

Resumen—Una de las principales causas de pérdidas en la producción de cebolla se atribuye al mal secado del producto, ya que no todas las regiones presentan el mismo clima, por ende, no todas las técnicas tienen resultados exitosos en todas partes. Por ejemplo, existen cambios diarios en las temperaturas y la humedad que provocan brotes de hongos en etapas de almacenamiento y transporte, lo cuales generan un impacto económico negativo a los pequeños, medianos y grandes productores. Motivados por esto, en este artículo proponemos un sistema de secado de cebolla para la etapa de postcosecha con el objetivo de obtener un producto de mejor calidad y más duradero, utilizando tecnologías que garanticen el ambiente adecuado en el proceso de secado. Nuestro aporte es incorporar en el proceso de secado un sistema de control programable y autosostenible basado en arduino, presentando de esta manera una nueva alternativa más amigable con el ambiente y ventajoso frente a otros sistemas convencionales de secado de cebolla de tipo industrial. Se practicaron pruebas iniciales para obtener una base de datos de temperaturas dadas dentro de la estructura de secado y además se realizaron simulaciones de temperaturas mediante la utilización del software Rhinoceros, dándonos un rango teórico de los cambios de temperatura que pueden presentarse en el interior de la estructura durante la temporada caliente del año. Al final de este artículo, se presentan una serie de resultados preliminares obtenidos de las primeras pruebas realizadas en campo y las simulaciones, y se discuten los resultados esperados con la implementación del prototipo del sistema propuesto.

Palabras claves—Automatización y control, proceso de secado, secado de cebolla, secado por aire caliente, transferencia de calor.

Abstract—One of the main causes of losses in onion production is attributed to the poor drying of the product, since not all regions have the same climate, therefore, not all techniques have successful results everywhere. For example, there are daily changes in temperatures and humidity that cause fungal outbreaks in the storage and transport stages, which generate a negative economic impact on small, medium, and large producers. Motivated by this, in this article we propose an onion drying system for the postharvest stage with the aim of obtaining a better quality and more durable product, using technologies that guarantee the right environment in the drying process. Our contribution is to incorporate in the drying process a programmable and self-sustaining control system based on

Arduino, thus presenting a new alternative that is more environmentally friendly and advantageous compared to other conventional industrial-type onion drying systems. Initial tests were carried out to obtain a database of temperatures given within the drying structure and temperature simulations were also carried out using the Rhinoceros software, giving us a theoretical range of temperature changes that may occur inside the structure during the hot season of the year. At the end of this article, a series of preliminary results obtained from the first tests carried out in the field and the simulations are presented, and the expected results with the implementation of the prototype of the proposed system are discussed.

Keywords—Automation and control, drying process, onion drying, hot air drying, heat transfer.

I. INTRODUCCIÓN

La reducción de humedad en los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados de conservación, ya que al reducir el contenido de agua se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y otros mecanismos asociados a él [1], [2]. En Panamá, la técnica mayormente utilizada para el secado de alimentos, y en particular en el secado de cebolla, es el secado tradicional en campo, donde se expone el producto directamente al sol, pero esta técnica va dependiendo de las condiciones ambientales que existen en la región.

La cebolla es un producto altamente perecedero que presenta mayores pérdidas a nivel mundial debido a su alto contenido de humedad [3], [4] y que acompañado a las variaciones climáticas en diversas regiones, pueden acelerar las pérdidas del mismo. Algunas de las variaciones que pueden afectar este cultivo son principalmente los cambios de temperatura y humedad. Actualmente, existen soluciones tecnológicas que han brindado resultados de proyectos de investigación interesantes para ayudar al sector agrícola a evitar pérdidas en los cultivos de cebolla. Hay evidencia de estudios relacionados con secadores de cebollas u otros alimentos, que brindan una herramienta eficiente para el monitoreo de variables agroclimáticas para el secado eficiente de cultivos. Por ejemplo, el sistema desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual consiste en un secado de frutas y verduras que utiliza energía solar [5]. Su enfoque

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.162>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390
DO NOT REMOVE

está basado en el desarrollo de un sistema sustentable que integra sistemas confiables, sencillos, eficientes, ecológicos y de bajo costo, con la finalidad de lograr la automatización y control del microambiente.. En la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, se realizó la construcción de un prototipo de máquina deshidratadora y pulverizadora de cebolla [6], la cual permite preservar y generar valor agregado a la cebolla que no puede venderse fresca. A partir del análisis de las curvas de secado en este estudio se pudo comprobar que la implementación de un sistema rotativo en dicha máquina garantiza la obtención de un producto homogéneo, y disminuye los costos y tiempo del proceso. En la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, se realizó un estudio de un secador solar indirecto para deshidratar frutas y vegetales, donde se evaluó el comportamiento de la velocidad de secado de piña, banano y cebolla mediante secado directo bajo el sol e indirecto en un prototipo deshidratador solar [2]. Los autores demostraron que al disminuir la cantidad de humedad a evaporar se logra disminuir el tiempo de secado. Además, descubrieron que otra opción para disminuir el tiempo de secado es la de aumentar la energía térmica, para que aumente la temperatura del aire y así aumente la tasa de transferencia del calor necesario para evaporar la humedad del producto. En sus resultados, concluyeron que si se quiere disminuir el tiempo de secado se debe tener cuidado de que la temperatura del aire no sea demasiado alta, ya que puede ocasionar daños al producto a secar [2]. En 2014, se realizó una investigación sobre la conservación de la cebolla mediante secado solar indirecto por convección natural y su efecto en la preservación de contenido en vitamina C. Este trabajo planteaba una metodología utilizada para diseñar un secador solar indirecto destinado al secado de cebolla, en donde se compararon los datos obtenidos en las cebollas con otras ya deshidratadas con un secador solar directo [2]. Los resultados mostraron que el secado solar indirecto es una forma viable, eficiente y conveniente de deshidratar alimentos y que el método preserva en mayor cantidad nutrientes susceptibles a desnaturalización como la vitamina C.

A pesar de los esfuerzos antes mencionados, la pérdida de cebolla debido a efectos de cambio climático es hoy en día un problema que aún necesita ser resuelto, sobre todo en Panamá donde urge examinar los impactos potenciales del cambio climático sobre el sector agropecuario [7].

Con base en lo expuesto, este trabajo propone un sistema automatizado de secado de alimentos que utiliza un flujo de aire caliente por radiación solar indirecta para reducir el contenido de humedad, promoviendo así el uso de la ingeniería para solventar un problema común del sector agropecuario panameño. Con este proyecto se busca aplicar técnicas en áreas específicas de transferencia de calor y teoría de control para manipular variables de interés como temperatura y humedad, lo que permitiría censar y cuantificar estas variables y obtener resultados a futuro de cómo su variación afectaría la composición y características de los alimentos. Para la validación del sistema, se considera el caso particular del

secado de la cebolla, buscando su óptima conservación y aprovechamiento.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección II describe el proceso de secado de cebollas. La sección III presenta la metodología, donde se describe el modelo conceptual del sistema de secado, sus partes y funcionamientos y el sistema de control propuesto para el mismo. La sección IV presenta un resumen de los resultados de los diseños y pruebas iniciales de este sistema. Finalmente, la sección V presenta las conclusiones y discusión.

II. PROCESO DE SECADO DE CEBOLLAS

El secado de productos agrícolas ha sido un método ampliamente utilizado desde hace años por gran parte de los países que se dedican a la producción de alimentos. Sin embargo, este proceso toma un nuevo enfoque con el tema de manejar con sistemas ecoeficientes, es decir, cerrados, sin impactos y económicamente rentables [2], [8], [9]. Para lograr esto, muchos países han considerado el uso de secadores de alimentos por convección o deshidratadores solares. Actualmente, existen diversas alternativas para realizar el proceso de deshidratación de alimentos, dentro de las cuales se considera el uso de estos mecanismos. Los equipos empleados para este fin presentan mayor eficiencia que el secado tradicional y menores costos de operación que los deshidratadores mecanizados.

Los secadores solares son una opción viable y económica, en la cual pasan aire caliente a través del producto para eliminar el contenido de agua que presentan algunos alimentos mediante la evaporación de esta [2]. Esto impide el crecimiento de las bacterias que no pueden vivir en un medio seco [10]. En estos sistemas el aire a una mayor temperatura permite una mayor extracción de humedad.

Entre las formas de calentamiento solar se tiene: secado solar directo y secado solar indirecto [2]. En el secado solar directo, la radiación solar incide directamente sobre el producto, adquiriendo así la energía de evaporación necesaria. La humedad formada en los alrededores del producto es recuperada por el aire tomado del exterior. El producto es removido mediante una maquinaria específica para favorecer el secado de toda la masa. Por otro lado, en el secado solar indirecto la radiación solar es captada por un colector por donde circula cierta cantidad de aire, donde se implementa el efecto invernadero para dejar entrar energía y no dejar que salga. Este flujo de aire se calienta e ingresa a la cámara de secado, en donde el aire caliente pasa sobre producto, eliminando así el contenido de humedad de la cámara.

Una de las principales consideraciones que se debe tener en el secado de alimentos en deshidratadores solares es establecer las condiciones climáticas óptimas para un proceso de alta calidad, entre ellas la temperatura del aire que se hace circular y su contenido de humedad. Para esto, es necesario saber que la temperatura óptima de secado de cebolla se realiza en un margen abierto de temperaturas, entre 40°C a 70°C [7]. Si la

temperatura de secado es muy alta, especialmente al inicio del secado, el exterior del producto se seca muy rápido y se endurecerá, donde esta capa dura y seca evitará la pérdida de humedad y podría deteriorarse durante el almacenado [8].

Esto puede obtenerse mediante la implementación de tecnologías de monitorización y control en el secador, las cuales ayudan al productor a saber la información ambiental en tiempo real y mantener constante las condiciones establecidas previamente [11].

Además, es necesario mencionar que las cebollas, al igual que muchos rubros, frutas, granos, entre otros, tienen ciertos aspectos que, a la hora de producirlas, hacen que su desarrollo sea más eficiente, para así obtener productos de mejor calidad y evitar las mayores cantidades de pérdidas posibles, tanto en su etapa de producción, cosecha, post cosecha, secado, almacenamiento y distribución. Algunos de estos aspectos son [2]:

- Tamaño de los trozos del producto (entre más grande, mayor tiempo de secado).
- Temperatura del aire (entre más elevada, menor tiempo de secado).
- Humedad relativa del aire (entre más elevada, mayor tiempo de secado).
- Velocidad del aire (entre más elevada, menor tiempo de secado).

Para el secado adecuado de las cebollas es necesario establecer un ambiente controlado, que contenga las condiciones óptimas para el desarrollo del proceso de secado, a través de toda su estructura. Estas condiciones óptimas sólo pueden ser establecidas cuando el productor conoce las características ambientales del lugar donde se desarrolla la actividad y las necesidades de las plantas. Esto puede obtenerse mediante la implementación de tecnologías de monitorización y control en el secador, las cuales ayudan al productor a saber la información ambiental en tiempo real y mantener constante las condiciones establecidas previamente [11].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Modelo Conceptual del Sistema de Secado de Cebolla

El sistema para el secado de cebolla propuesto cuenta con una estructura basada en un sistema convencional de secado de cebolla por convección, un sistema de captación solar indirecto y la adaptación de un sistema alterno que será capaz de realizar el secado de cebollas cuando la energía transmitida por el sol no sea suficiente para realizar de manera eficiente el proceso de secado, como se presenta en la Fig.1.

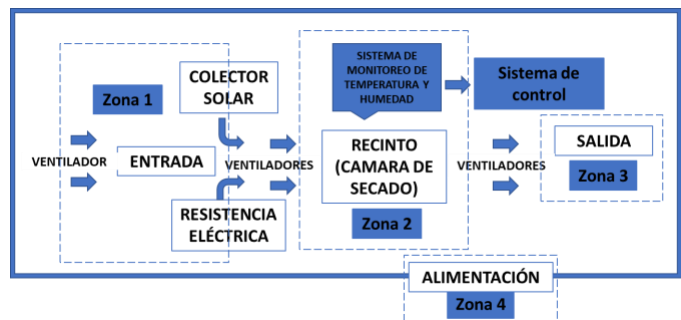


Fig.1. Diagrama de bloques del sistema propuesto.

En la Fig.1 se muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto, donde tenemos las cuatro zonas principales en las que se divide el sistema de secado solar propuesto:

1. La zona 1 representa la parte del sistema donde tiene lugar la entrada de aire desde el exterior mediante el uso de ventiladores para aumentar la velocidad del aire y garantizar un flujo de aire adecuado. Cuenta también con la zona de captación de energía tanto solar como eléctrica para el calentamiento del aire en el sistema en horas del día y la noche.
2. En la zona 2 tenemos la parte interna del sistema donde se coloca el producto a secar. Esta zona cuenta también con ventiladores encargados de mantener un flujo constante para la extracción de humedad del producto y del interior del recinto para realizar un proceso de secado eficiente. En esta zona será colocado el sistema de monitoreo de temperatura y humedad para medir los niveles de las variables en tiempo real. Esta información es enviada al sistema de control para accionar mecanismos que mantengan los rangos de temperatura y humedad necesarias para el secado.
3. La zona 3 representa la salida del sistema, por donde será expulsada al exterior la humedad excedente del recinto y del producto.
4. En la zona 4 tenemos la alimentación del sistema, encargado de proporcionar energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la componente de monitoreo y control y de generación calor para el secado durante las noches.

La Fig.2 muestra el modelo conceptual del prototipo desarrollado. El secador que se presenta es de tipo indirecto y la evaporación de humedad contenida en el producto se hace por convección mediante una corriente de aire caliente que atraviesa el producto y cuenta con diversos elementos encargados de realizar el proceso, garantizando su eficiencia y calidad.

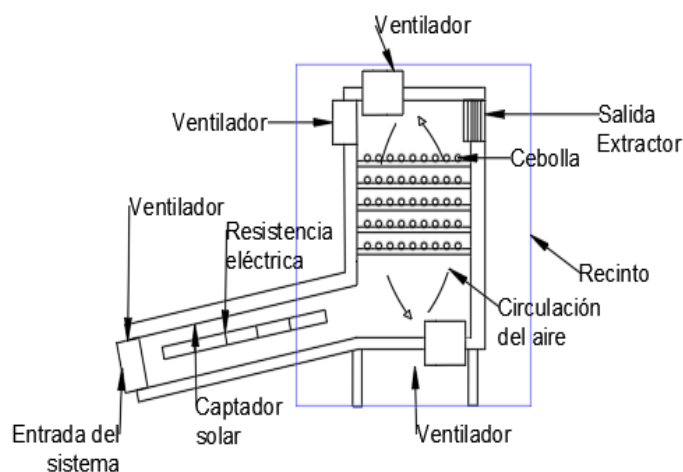


Fig.2. Diseño conceptual del sistema propuesto.

Primeramente, se propone colocar en la entrada del sistema un ventilador encargado de aumentar la velocidad del flujo de aire proveniente del exterior y mantenerla a una velocidad apropiada. Seguidamente, el colector solar se utilizará para el aprovechamiento de la energía en forma de calor brindada por el sol en horas del día. En horas de la noche se propone el funcionamiento de una resistencia eléctrica que proporcionará el calor que ya no será brindado por el sol. Luego, una serie de ventiladores ubicados en la parte inferior del recinto provocarán el movimiento del aire caliente hacia la parte superior del recinto de secado, en el cual se colocará el producto a secar. El objetivo de este proceso es que el aire a alta temperatura efectúe la transferencia de calor y se dé la disminución de humedad contenida en las cebollas. Con la ayuda de ventiladores, se hará circular el aire a través de toda la estructura de secado y se hará salir del mismo, mediante una abertura en la parte superior del recinto. Además, es necesario que los ventiladores también se encarguen de mantener, en rangos aceptables, los niveles de humedad dentro del recinto.

Todo el proceso de secado es programable, ya que el diseño cuenta con un sistema monitoreo de temperatura y humedad que le brinda información al sistema de control para saber cómo reaccionar a diferentes escenarios producto de los cambios del ambiente dentro y fuera del recinto. Además, el sistema propuesto es autosostenible, puesto que cuenta con paneles solares destinados para abastecer de energía eléctrica todos los elementos del sistema que así lo requieran.

B. Sistema de monitoreo de temperatura y humedad.

Cuando el sistema se encuentre en funcionamiento, el sistema de monitoreo contará con tres sensores para medir constantemente los niveles de temperatura y humedad dentro del recinto. Esta información es enviada al sistema de control para el correcto funcionamiento del sistema de secado.

En el diseño del sistema de monitoreo se contempló el uso de una red de estaciones esclavas con sensores separados uniformemente entre sí para tomar datos periódicamente. Estos datos son enviados en tiempo real a una unidad central llamada estación maestro. Para la obtención de datos se realizaron

pruebas de medición de temperatura y humedad dentro de estructuras de metal, con el fin de observar el comportamiento de estas variables en el transcurso del día, y así determinar la precisión en el proceso de recolección de datos. En la Fig. 3 se presenta el diagrama de bloques de la red de monitoreo de temperatura y humedad, utilizando los equipos presentados en [12].

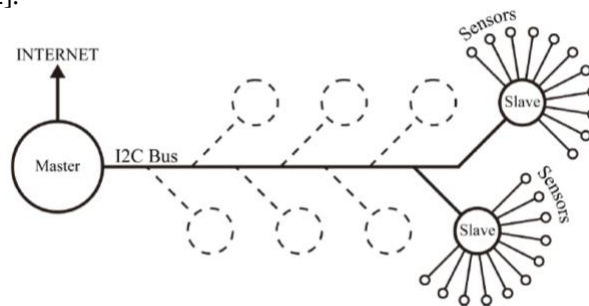


Fig.3. Topología del sistema multisensorial de captura de datos.

Para la visualización de datos recopilados por el sistema de monitoreo, es necesario la instalación del Java Runtime Environment 8 y del software Cinemi Slave Reader, ya que el sistema de visualización está programado en la plataforma Java [13].

C. Sistema de Control para el Secado de Cebolla

El sistema de control es diseñado para cumplir con los requerimientos de secado propuestos por los productores. Se desea que el sistema permita secar las cebollas en tres días y ocho horas, con el fin de realizar el proceso en un menor tiempo y de manera eficiente, obteniendo el producto libre del exceso de humedad para su comercialización. El sistema de control propuesto en este trabajo está basado en la plataforma Arduino, el cual cuenta con tres secciones. Cada sección es programada en un Hardware distinto, controlados por un microcontrolador Arduino principal que será el que genere el arranque del sistema.

Las indicaciones para cada sección se han separado de la siguiente manera:

a) Extracción de humedad

En esta sección se utiliza un microcontrolador Arduino para controlar la extracción de humedad, el cual funcionará de manera consecutiva durante cinco minutos cada tres horas. Este tiempo fue establecido de forma práctica para mantener el recinto libre de excesos de humedad aportados por el entorno y el producto que está siendo secado. El diagrama de bloques de sistema de control para el extractor de humedad se muestra en la Fig.4.

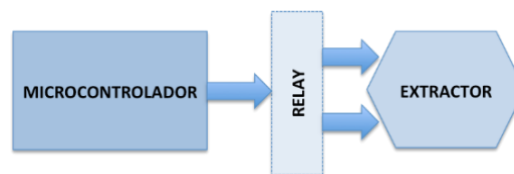


Fig. 5. Diagrama de bloques de conexión del extractor de humedad.

b) Recirculación del aire en el interior del recinto.

Para el control de los ventiladores, se utiliza un microcontrolador Arduino y cuatro relay de 12 V, debido a que el voltaje de funcionamiento de los ventiladores es de 12 V y el microcontrolador solo puede generar 5 V. Además, se utiliza una fuente de voltaje de 12 V, la cual alimenta a los ventiladores. El diagrama de bloques de la Fig.6 muestra el diseño conceptual del sistema de circulación de aire.

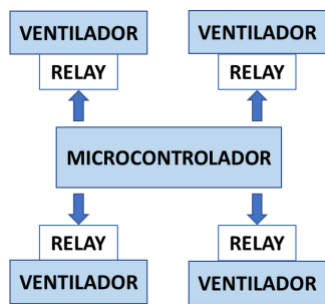


Fig.6. Diagrama de bloques del sistema de recirculación de aire.

c) Control de temperatura interna en el recinto

En la sección de control de temperatura, se requiere que la temperatura interna del recinto varíe de 29°C hasta 39°C de forma creciente, aumentando un grado cada ocho horas, de esta manera hacemos que el proceso de secado se realice en un menor tiempo, obteniendo productos de buena calidad, pues no se expone el cultivo a cambios bruscos de temperatura que puedan causar su deterioro. Este sistema consta de un microcontrolador Arduino para el control de la temperatura interna del secador y resistencias para calentamiento. El sistema utiliza la información generada por los sensores del sistema de monitoreo en el interior del recinto para controlar las resistencias, y así garantizar las condiciones ambientales que se requieren dentro del secador. La Fig. 7 muestra el diagrama de bloques del sistema de control de temperatura.

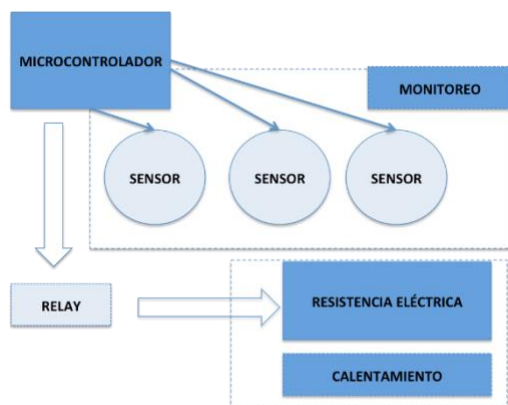


Fig. 7. Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura.

IV. RESULTADOS

Para la recolección de datos de temperatura y humedad dentro de un recinto cerrado, se realizaron pruebas de medición

del sistema de monitoreo considerando la distribución de sensores que se muestra en la Fig. 8.

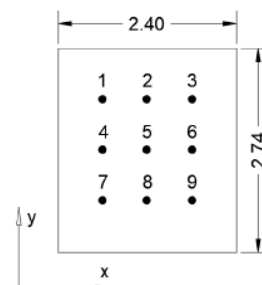


Fig. 8. Colocación de sensores de temperatura y humedad

Con la realización de lecturas de temperatura y humedad se obtuvo una gran cantidad de datos que fueron exportados y analizados usando Microsoft Office Excel. A partir de estos resultados, se generaron gráficas de datos recolectados. En este artículo se muestra el comportamiento de las variables para el día 20 de enero del 2020, ya que este fue el día con mayor temperatura ambiental en Panamá, según datos de la compañía ETESA [14]. Para este día el análisis del comportamiento térmico dentro del contenedor sería más provechoso porque se considera la temperatura máxima del mes, lo cual permitiría obtener valores críticos importantes. Las gráficas generadas de temperatura y humedad se presentan en las Fig. 9 y 10, respectivamente.

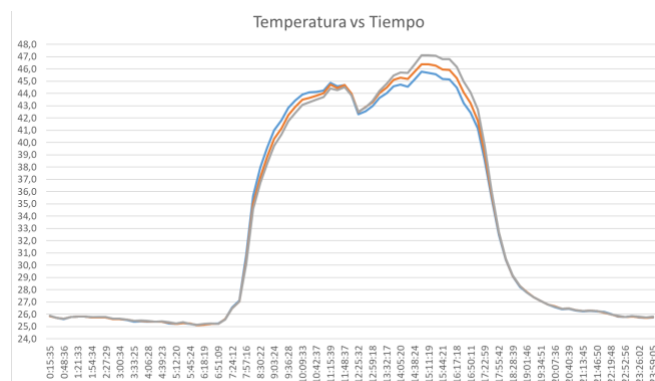


Fig.9. Temperatura dentro del secador de cebolla.

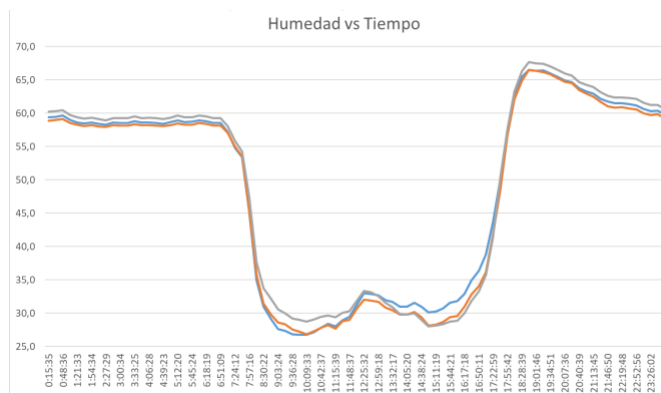


Fig.10. Humedad dentro del secador de cebolla.

En la Fig. 9 se muestra el comportamiento térmico dentro del recinto, donde se puede resaltar principalmente lo que viene siendo el punto crítico de cambio brusco de temperatura durante veinticuatro horas, el cual ocurre generalmente a las 7:00 am, que significa la hora de salida del sol, donde se observó un cambio de 10°C en una hora y 20°C en dos horas. Esto quiere decir que ocurre un aumento acelerado de temperatura ambiental, por ende, esto afecta directamente la temperatura interna del secador y, por consiguiente, al producto que esté dentro del mismo. Este cambio brusco también se observa en horas de la tarde cuando la temperatura disminuye porque el sol se oculta, lo que significa que son dos puntos en donde es necesario controlar el comportamiento de la temperatura para que el producto no se vea afectado y tampoco se interrumpa el proceso de secado.

Con la obtención de estos resultados se pudo observar que el mayor reto del sistema de control se ubicaría al amanecer y al anochecer debido a los cambios acelerados de temperaturas, por lo tanto, la reacción de esta debe ser inmediata para así mantener la temperatura que se requiere en el secado.

Del mismo modo, en la Fig. 10 se observa una caída significativa de humedad en horas del día entre las 07:00 am y 05:00 pm, donde el comportamiento es aproximadamente constante. Es importante mencionar que el control de la humedad será más complejo en horas de la noche debido al notable alza que se da entre las 06:00 pm y 06:00 am.

Para el diseño de los esquemáticos de los circuitos que serán utilizados para el desarrollo del secador de cebollas, fue utilizado el software EasyEDA, el cual es una herramienta de diseño de PCB en línea más fácil y poderosa que permite a los ingenieros electrónicos, educadores, estudiantes, creadores y entusiastas diseñar y compartir sus proyectos. Esta es una herramienta de diseño integrada en el catálogo de componentes LCSC (Distribuidor líder de componentes electrónicos en China) y el servicio de PCB JLCPCB (Industria de PCB) que ayuda a los usuarios a ahorrar tiempo para convertir sus ideas en productos reales [15].

Para el sistema de secado de cebolla se utilizaron microcontroladores Arduino Uno, sensores LM35, ventiladores, resistencias eléctricas y demás componentes electrónicos.

Para el sistema de control del extractor de humedad se propuso el diseño que se presenta en la Fig.11.

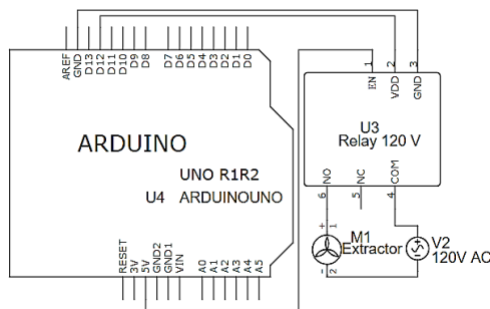


Fig.11. Esquemático del sistema de control del extractor de humedad.

El funcionamiento de este extractor será de cinco minutos continuos cada tres horas para desalojar el contenido de humedad que se encuentra dentro del recinto.

Para el sistema de recirculación de aire caliente dentro del recinto se propone el diseño que se presenta en la Fig. 12. Los ventiladores tendrán diferentes funciones a lo largo del sistema. El ventilador que se ubica en la entrada del sistema es el encargado de hacer pasar aire del exterior al interior del secador, arrastrando este aire calentado por el captador solar y la resistencia eléctrica hacia el recinto donde se encuentra el producto. También, dentro del recinto se cuenta con tres ventiladores se encargarán de hacer la recirculación de aire caliente a través del producto, como vimos en la Fig. 2. Cuando haya transcurrido las tres horas, se accionará el último ventilador que se encarga de realizar el proceso de evacuación de exceso de humedad.

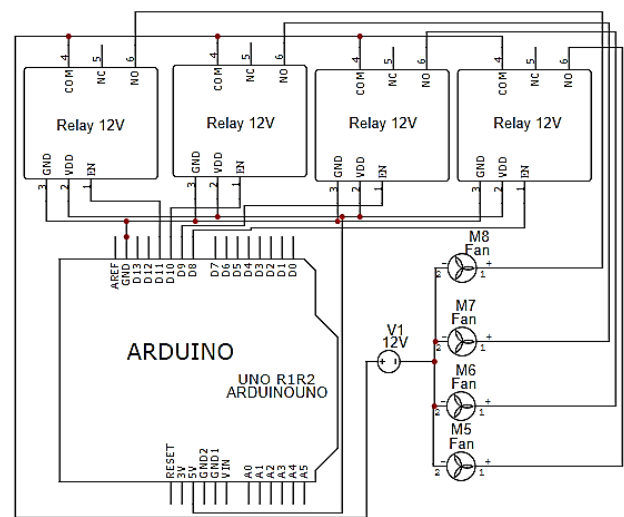


Fig.12. Esquemático del sistema de recirculación de aire caliente.

En la Fig.13. se muestra el esquemático propuesto para el sistema de control de temperatura interna en el recinto.

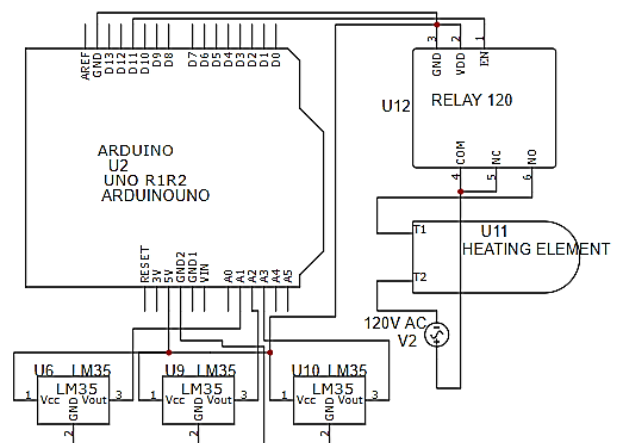


Fig.13. Esquemático del sistema de control de temperatura interna en el recinto.

V. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

El presente trabajo propone un sistema que utiliza tecnologías de aprovechamiento de calor y de control de variables climáticas para el secado adecuado de cebollas. El control sobre las variables claves durante el secado de cebolla hace el proceso más eficiente que el método convencional en campo. El sistema de monitoreo y control será capaz de brindar información del ambiente interno de la cámara de secado y controlar el comportamiento de las variables consideradas. Además, el sistema podrá ser ubicado en cualquier lugar, ya que es un sistema autosostenible y programable para adaptarse al ambiente del lugar.

Los beneficios, en términos generales, del desarrollo de esta investigación están relacionados con brindar al productor una herramienta tecnológica eficiente y fácil de utilizar para monitorear y controlar las variables agroclimáticas dentro y fuera de las estructuras para el secado óptimo de las cebollas. Por ello, los principales beneficiarios serán los productores que se dedican a actividades agrícolas y sufren cada año de graves problemas climatológicos que los afectan directamente.

Este sistema de secado de cebolla propuesto no solo beneficiará a los productores, sino también a instituciones académicas y de investigación, ya que les permitiría realizar trabajos investigativos sobre el comportamiento y rendimiento de los cultivos durante el secado de estos.

El impacto del proyecto se puede dividir en: técnico, que ofrece una alternativa viable para el secado de cebolla luego de la cosecha; socioeconómico, ya que al reducir drásticamente las pérdidas postcosechas por el exceso de humedad, los productores de cebolla podrán invertir más recursos con mayores ganancias debido a que mejorarán la calidad y la vida útil de su producción. Al aumentar la producción se necesitará más mano de obra para ello, por lo cual se crearán mayores plazas de trabajo; ambiental, pues este proyecto se plantea de forma integral, ya que permite estabilizar la materia orgánica, al reducir de manera significativa la cantidad de cebolla que se pierde por no estar en condiciones óptimas de aprovechamiento ayudando a mitigar el inadecuado manejo de los residuos sólidos. Además, la utilización de energía renovable como fuente de alimentación del sistema busca la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, pues no se necesita combustible ni electricidad para la producción del aire caliente necesario siendo una característica de este proyecto su autosostenibilidad [16]. En cuanto al impacto humano, cabe destacar, que se logra la conservación de la cebolla por largos períodos de tiempo, manteniendo disponible el producto todo el año y se aumenta el valor agregado de la materia prima, sobre todo cuando los productos se producen o adquieren a bajos precios en los picos de las cosechas, lo que actúa proporcionando seguridad alimentaria y regulando el mercado en los períodos de sobreproducción [17]. Una alternativa que se plantea con este proyecto es la ampliación de las oportunidades de mercado mediante la obtención de un producto deshidratado que conserve adecuadamente sus propiedades fisicoquímicas y

organolépticas, prolongue su vida útil en la etapa de postcosecha y pueda ser ofertado sin importar que no sea época de producción, generando mayores ganancias durante mayores períodos de tiempo para los productores [18].

La realización de este tipo de secado presenta diversas ventajas y desventajas que son expuestas a continuación:

Ventajas:

- Un sistema de secador solar indirecto preserva en mayor cantidad nutrientes susceptibles a desnaturalización. Además de permitir mayor control en el proceso, facilitar la manipulación de alimentos, permitir secar productos sensibles a la radiación solar directa y permitir integrar una fuente auxiliar.
- La velocidad del viento en el exterior no influiría en el flujo de aire del interior del secador solar, ya que el flujo de aire circulante en el interior se generaría por convección.
- Un secador de alimentos que funcione 24 horas es de mucha utilidad, ya que se bajarían los costos del producto debido a que no habría gastos de insumos de energía para el proceso.
- El paso de aire caliente a través del producto elimina el agua que contiene la cebolla mediante la evaporación de esta, lo que impide la proliferación de bacterias (factor de mucha importancia en la conservación del producto por un largo tiempo).
- Un sistema de energía solar permite a pequeños productores alcanzar tecnología a un precio mucho menor que un secador eléctrico y/o de combustión.
- Forma parte de la categoría de tecnología verde, pues aporta una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero debido al origen de la energía usada para su funcionamiento.

Desventajas:

- La temperatura y la velocidad del flujo de aire utilizado para el secado influyen directamente sobre la composición de la cebolla, por lo que debería utilizarse técnicas de optimización del proceso para trabajar siempre bajo condiciones ideales.
- El proceso puede ser lento si existe demasiada humedad en el entorno.
- Se tendría que evaluar el porcentaje de pérdida de pungencia de la cebolla deshidratada en almacenamiento.
- La inversión inicial de la tecnología solar es un poco costosa dependiendo de la capacidad térmica requerida, pero se compensa con el ahorro de combustible y electricidad a largo plazo.

Con la implementación del sistema de secado automatizado propuesto, se espera obtener productos con mayor calidad y en menor tiempo, logrando así mejoras en el sector agrícola y un impacto ambiental positivo.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue realizado mediante el financiamiento parcial obtenido en la Convocatoria Pública para fomento de nuevos emprendimientos 2018 (propuesta NE-18-054) de la Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación-SENACYT. Y. Sáez y E. Collado, agradecen al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá por proporcionar financiamiento parcial para su participación en las actividades de investigación de este proyecto

REFERENCIAS

- [1] A. Estrada Camargo y M. Barajas Segoviano, «Conservación de Allium Cepa mediante secado solar indirecto por convección natural y su efecto en la preservación de contenido en vitamina C,» *Jóvenes en la ciencia*, vol. I, nº 1, pp. 240-241, 2014.
- [2] C. Cortez Calero, «Estudio de un secador solar indirecto por convección natural para el deshidratado de frutas y vegetales en Nicaragua (Doctoral Dissertation),» Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, 2014.
- [3] E. Catañeda Pérez, «Estudio del secado de cebolla (Allium cepa L.) brotada evaluando pungencia,» Instituto Politécnico Nacional, Mexico, DF, 2009.
- [4] R. D. C.C. Hole y D. Gray, «Humidity and mechanical properties of onions skins,» *Postharvest Biology and Technology*, vol. III, nº 19, pp. 229-237, 2000.
- [5] V. Hernández Gómez, O. Olvera García, P. Guzmán Tinajero y D. Morillón Gálvez, «Secado de frutas y verduras con energía solar,» *Revista de sistemas experimentales*, vol. IV, nº 11, p. 1, 2017.
- [6] L. Arteaga Noguera, «Diseño y construcción de prototipo de máquina deshidratadora y pulverizadora de cebolla,» *Scientia et Technica*, vol. XX, nº 1, pp. 26-31, 2015.
- [7] A. Loboguerrero, D. Martínez Barón, S. Gameda, M. Boa, G. Martiz, Y. Sierra y L. Venegas, «Estado del arte en cambio climático agricultura y seguridad alimentaria en Panamá,» Panamá, 2014.
- [8] Y. Cengel, Transferencia de calor y masa, México: McGraw-Hill, 2007.
- [9] J. Saiz Jiménez, «Secado de alimentos mediante energía solar,» *3C Tecnología*, vol. III, nº 4, 2014.
- [10] J. Peinado Martínez, R. Herrera, J. Grado Díaz y J. Gándara Fernández, «Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica,» *CULyT*, vol. 50, nº 2, p. 99, 2013.
- [11] E. Collado, A. Fossatti y Y. Sáez, «Smart farming: A potential solution towards a modern and sustainable agriculture in Panama,» *AIMS: Agriculture and food*, vol. IV, nº 2, pp. 266-284, 2018.
- [12] A. García, «Diseño de sistema multidimensional de captura y análisis de datos muestrados basados en sistemas embebidos de bajo costo y código abierto (Bachelor Thesis),» Panamá, 2016.
- [13] «ORACLE,» [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/java/technologies/javase-jre8-downloads.html>. [Último acceso: 10 Enero 2020].
- [14] «ETESA,» [En línea]. Available: www.hidromet.com.pa. [Último acceso: 12 marzo 2020]. [Último acceso: 12 Marzo 2020].
- [15] «EasyEDA,» [En línea]. Available: <https://easyeda.com/>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [16] M. Torres Mendez y D. Vega Martinez, Evaluación de un sistema de secado con energía solar, para deshidratar los residuos orgánicos generados en el restaurante del bloque D de la universidad Libre sede Bosque Popular, Bogotá, 2015, pp. 1-87.
- [17] EcuRed, «Discusión: Secado solar/Ventajas del secado solar,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Secado_solar/Ventajas_del_secado_solar. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [18] C. Bejarano Martínez, «Evaluación del efecto de uso de un deshidratador solar pasivo indirecto en flujo turbulento y de un deshidratador solar pasivo en propiedades fisicoquímicas y organolépticas de mango, naranja y mandarina,» Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2018.
- [19] V. Hernández Gómez, O. Olvera García, P. Guzmán Tinajero y D. Morillón Gálvez, «Secado de frutas y verduras con energía solar,» *Revista de Sistemas Experimentales*, vol. IV, nº 11, p. 1, 2017.
- [20] C. Salazar Calvo, «Análisis de la cadena alimentaria de la cebolla en Costa Rica,» *Seminario: La apertura comercial y el sector agropecuario*, p. 10, 2003.