

Secador solar con control difuso aplicado a la deshidratación de la hoja de moringa

Oscar Campos Limón, José Antonio Hernández Reyes, Rodolfo Nava Barrera,
Carlos González Escarpeta, Oscar González Ríos

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz

Resumen

En la actualidad muchas plantas, semillas y frutas requieren de un proceso que permita extraer la mayor cantidad de humedad para su conservación, por lo que es necesario contar con equipos deshidratadores. Se han desarrollado deshidratadores tanto caseros como de tipo industrial. Los más económicos son los de tipo solar, aunque hasta el momento, en estos no se ha procurado implementar sistemas que permitan el monitoreo y control de las variables que permitan mejorar los tiempos y la calidad del secado.

Por lo anterior se desarrolló y construyó un deshidratador solar tomando como referencia diferentes prototipos de secadores solares, con la finalidad de mejorar los tiempos de secado de la hoja de moringa, igualando el porcentaje de humedad perdido como si fuese en un secador industrial.

El prototipo desarrollado se instrumentó con sensores de humedad y temperatura para monitorear estas variables que son importantes en este proceso. Se colocaron ventiladores que facilitan el flujo de aire, con el objetivo de que la humedad no permanezca dentro de la cámara de secado. También se colocaron focos que permiten incrementar la temperatura en días no soleados. La activación de los ventiladores y los focos la determina un controlador basado en lógica difusa. El sistema de control se implementó en un sistema embebido Arduino Mega 2560.

Abstract

Currently, many plants, seeds and fruits require a process that allows the greatest amount of moisture to be extracted for their conservation, which is why it is necessary to have dehydrating equipment. Both home and industrial-type dehydrators have been developed. The most economical are those of the solar type, although up to now, in these no attempt has been made to implement systems that allow the monitoring and control of the variables that allow improving the times and quality of drying.

Therefore, a solar dehydrator was developed and built taking as reference different prototypes of solar dryers, in order to improve the drying times of the moringa leaf, matching the percentage of moisture lost as if it were in an industrial dryer.

The developed prototype was instrumented with humidity and temperature sensors to monitor these variables that are important in this process. Fans were placed to facilitate air flow, so that moisture does not remain inside the drying chamber. Spotlights were also placed that allow the temperature to be increased on non-sunny days. The activation of the fans and spotlights is determined by a controller based on fuzzy logic. The control system was implemented in an Arduino Mega 2560 embedded system.

Palabras clave: Secador Solar, Control Difuso, Moringa

Keywords: Solar dryer, Diffused Control, Moringa

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la hoja de moringa está siendo muy empleada en la gastronomía y la medicina. Del árbol de moringa se pueden utilizar sus hojas, su fruta, el tallo y las raíces por lo que es muy valorada [1]. Se ha encontrado que tiene un alto contenido nutrimental, por lo que se ha utilizado como una planta comestible que temporalmente soluciona problemas de desnutrición en comunidades tropicales y subtropicales de escasos recursos [2].

Específicamente la hoja seca de la moringa es consumida por sus altos niveles de potasio, hierro, calcio, proteínas, vitamina A y vitamina C. Estas propiedades pueden verse afectadas negativamente si no se tiene un proceso adecuado para su secado.

Actualmente existen secadores artesanales, semi industriales e industriales capaces de realizar este proceso de deshidratación, en el caso del secado artesanal consiste en un proceso de secado de manera natural utilizando la energía solar, hasta que se llega a los porcentajes de humedad óptimos, mientras que en los secadores de tipo industrial se realizan por procesos de lecho fluidizado o por circulación de aire forzado, por mencionar algunos. Estos últimos tienen mayor eficiencia, pero mayores costos de operación.

En el Instituto Tecnológico de Veracruz se llevó a cabo una investigación [3] para determinar si en un proceso de secado natural solar mediante un secador artesanal se obtenían resultados similares favorables en la obtención de harina de hoja de moringa en comparación con resultados obtenidos de un secado artificial por lecho fluidizado. De acuerdo con esta investigación los resultados indicaron que la harina de moringa obtenida de las hojas tras un proceso usando un secador solar, posee una mayor calidad en comparación con el uso de secado artificial. Se concluye que el uso de energía solar para el secado de hojas de moringa, representa una alternativa asequible y con gran potencial para la obtención de harina de moringa.

Ahora bien, en el proceso de secado de la moringa es fundamental conocer la humedad y la temperatura, ya que valores fuera de los rangos permitidos de estas variables afectan de manera directa al producto final. Por lo que es necesario contar con un sistema de control capaz de monitorear estas variables y tener una mayor estabilidad en el sistema.

Se han desarrollado prototipos de secadores solares que no cuentan con sistemas de control modernos. Algunos de ellos monitorean distintos parámetros beneficiosos durante todo el proceso de secado, sin embargo, no se tiene un control de ellas. [3-9]. En cambio, los secadores semi industriales e industriales cuentan con sistemas manejados por controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de control PID.

La Lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial que permite el proceso computacional de datos imprecisos expresados en lenguaje natural obtenidos de la experiencia humana. Esta técnica ha tomado un papel importante en el desarrollo e implementación de sistemas de control, dado que no se requiere conocer el modelo matemático del proceso y ha mostrado resultados satisfactorios en el control de sistemas no lineales [10, 11].

Un sistema difuso (figura 1) consta de cuatro partes: fuzificador, la base de conocimiento, sistema de inferencia y un desfuzificador. El fuzificador se encarga de realizar un mapeo del lenguaje humano impreciso en un valor numérico entre 0 y 1, siendo cero el correspondiente a falso y el uno a completamente verdadero. La base de conocimiento y el sistema de inferencia que es del tipo "IF-THEN" obtenido de la experiencia que tiene el ser humano del proceso. En el desfuzificador se mapea el valor numérico, entre 0 y 1, obtenido del sistema de inferencia en un valor que corresponde a la señal de control que se enviará al actuador del proceso. En la desfuzificación se emplean dos métodos: el de Mamdani y el de Takagi-Sugeno.

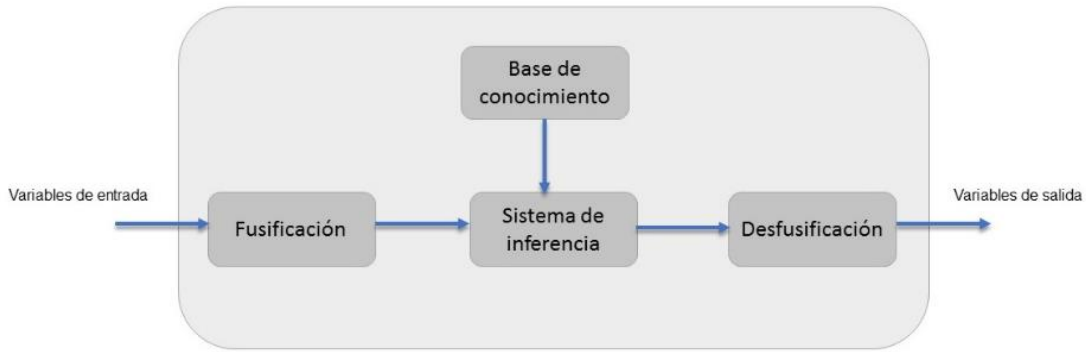


Figura 1. Partes de un sistema difuso

Los sistemas embebidos se usan para implementar el monitoreo y control eficiente de procesos, su elemento principal son los microprocesadores o microcontroladores que son capaces de procesar datos a gran velocidad.

En este artículo se presenta el desarrollo e implementación de un deshidratador solar con control difuso de la temperatura de secado, para lo cual se divide en cinco secciones, comenzando por la introducción. La sección 2 muestra el diseño y la construcción del secador solar. En la sección 3 se presenta como se realizaron las diferentes partes del controlador difuso. Las pruebas realizadas se presentan en la sección 4 y por último en la sección 5 se muestran las conclusiones del trabajo desarrollado.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR

Se analizaron diferentes diseños para la construcción del secador solar, entre ellos, el directo, indirecto y mixto. Para fines del proyecto presentado en este artículo se efectuó el diseño y construcción de un secador solar mixto dividido en tres módulos: cámara de secado, colector solar y base.

2.1 Cámara de secado

En este módulo se lleva a cabo la actividad principal del secado de las hojas de moringa, la cámara de secado tiene una forma rectangular con una base cuadrada de 65 cm por cada lado y una altura de 1 m. Teniendo en su interior un espacio suficiente para la contención de dos bandejas en donde se coloca la materia prima (figura 2).

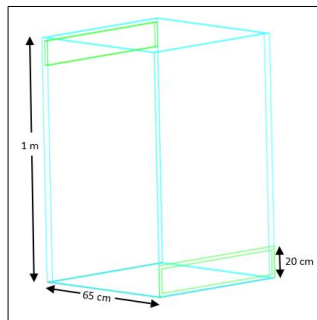


Figura 2. Dimensiones de cámara de secado

La parte superior de la cámara de secado no está hecha de madera, sino de vidrio, para aprovechar la mayor incidencia de los rayos del sol y favorecer así el aumento de la temperatura dentro de la cámara de secado.

2.2 Colector solar

El colector solar es el encargado de calentar el aire que entra al módulo de la cámara de secado por medio de la radiación solar que incide en la parte superior del mismo, ya que esta cara no es de madera como el resto del colector, sino que, al igual que el módulo de la cámara de secado, es de vidrio. Este módulo es de forma rectangular con medidas de 1 m x 20 cm x 65 cm, con dos pequeñas columnas en su extremo de 20 cm de alto que sirven para darle soporte e inclinación al colector (figura 3).

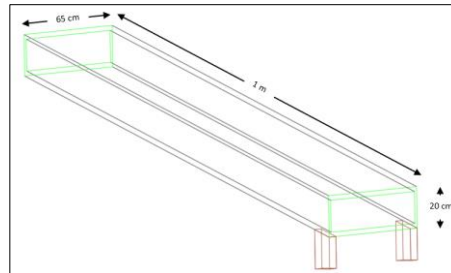


Figura 3. Dimensiones y forma del colector solar

2.3 Base

Este último módulo es el que soporta al módulo de la cámara de secado, dándole así la estabilidad necesaria para operar. Tiene las mismas medidas que el módulo de la cámara de secado, pero con un grosor de 2 cm. Este módulo también cuenta con cuatro columnas de 60 cm cada una.

2.4 Material, pintado y refractado

Para la construcción del secador se contempló la utilización de madera o aluminio para cada uno de los módulos, sin embargo, debido a los factores antes mencionados se optó por utilizar madera. La madera es un excelente aislante térmico gracias a su estructura celular, ya que las fibras de la madera no acumulan el calor como lo harían el acero o el aluminio, que son metales altamente conductores de calor. El secador sin pintar se muestra en la figura 4.



Figura 4. Secador solar sin pintar

Para el diseño del secador solar se plantea la aplicación de pintura negra para toda la superficie exterior del mismo. Esto incluye tanto para la cámara de secado, como para el colector solar. El utilizar pintura negra favorece el incremento de la temperatura, ya que cuando el sol irradia sobre una superficie de color negro absorbe más porcentaje de calor que una superficie de color claro.

Entre las propiedades que más destacan del aluminio son que es un buen conductor de calor y además de llegar a soportar altas temperaturas. Estos son unos de los motivos principales por los cuales se utiliza el aluminio en diferentes sectores como material refractario, ayudando a mantener una temperatura estable y en algunos casos favoreciendo el incremento de la misma.

De acuerdo a lo anterior se recubrirán las caras interiores de la cámara de secado con papel aluminio exceptuando la cara superior, donde se encuentra alojado el vidrio por el cual incide la radiación solar sobre la cámara de secado.

3. CONTROL DE TEMPERATURA DE SECADO USANDO LÓGICA DIFUSA

Dentro del proceso de secado para la hoja de moringa es de suma importancia tener control de la temperatura dentro del módulo de la cámara de secado, así como el monitoreo de la humedad relativa, por lo que se desarrolló e implementó un controlador difuso para regular la temperatura en este proceso (figura 5).

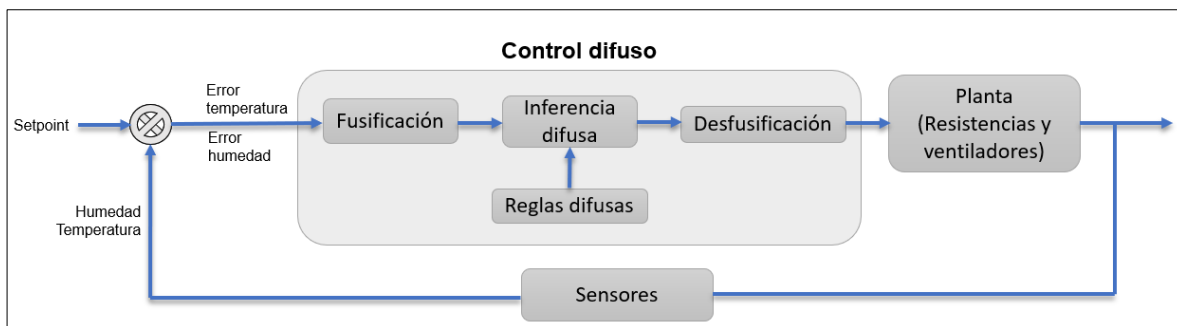


Figura 5. Diagrama de control

3.1 Conjuntos Difusos

En las etapas de fuzificación y desfuzificación se definen los universos de entrada y salida, así como cada uno de sus conjuntos. Para la implementación en el secador solar se toma en cuenta dos universos de entrada y dos universos de salida: temperatura y humedad como universos de entrada y para los universos de salida el valor PWM que llega a las resistencias (focos) y ventiladores (figura 6).

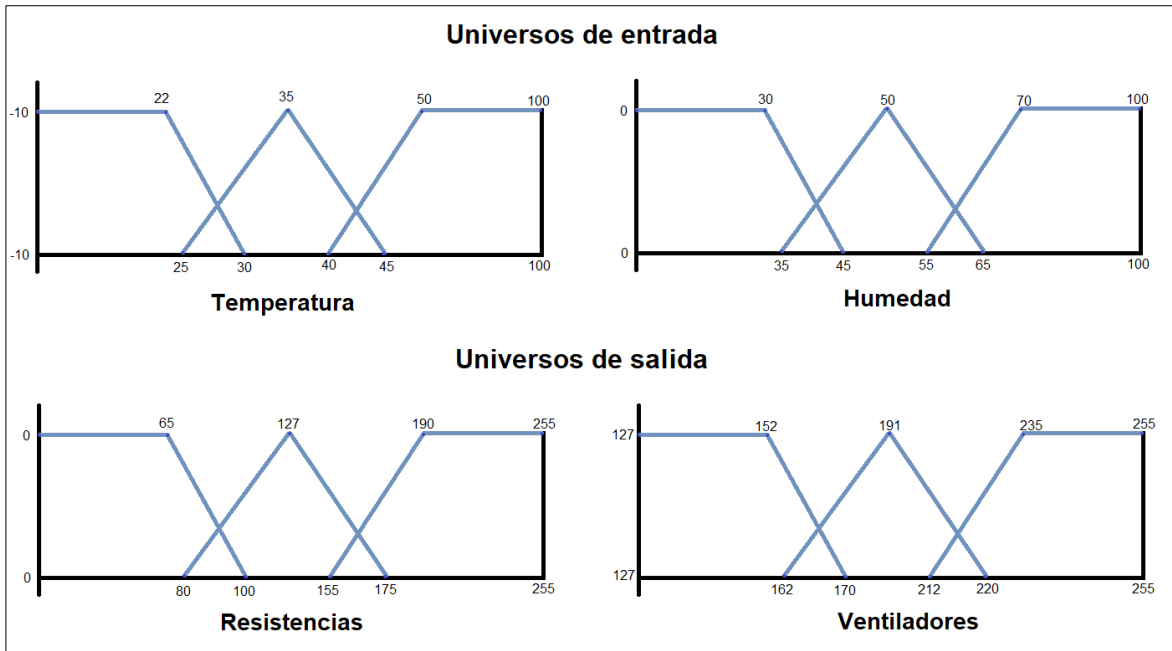


Figura 6. Conjuntos de universos de entrada y salida

3.2 Sistema de inferencia

Una vez definidas las entradas y salidas para el control difuso se deben establecer reglas de inferencia, que indican la relación de la entrada con la salida deseada mediante sentencias “IF-THEN” (tabla 1)

Tabla 1. Reglas de inferencia difusa

If	Entrada 1 (Temperatura)	And	Entrada 2 (Humedad)	Then	Salida 1 (Resistencia)	And	Salida 2 (Ventilador)
if	Bajo	and	Bajo	then	bajo	and	bajo
if	Bajo	and	Medio	then	bajo	and	medio
if	Bajo	and	Alto	then	bajo	and	alto
if	medio	and	Bajo	then	medio	and	bajo
if	medio	and	medio	then	medio	and	medio
if	medio	and	Alto	then	medio	and	alto
if	Alto	and	Bajo	then	alto	and	bajo
if	Alto	and	medio	then	alto	and	medio
if	Alto	and	Alto	then	alto	and	alto

3.3 Dispositivos empleados

Para monitorear la temperatura y humedad se instalaron sensores DHT22. De acuerdo al tamaño del secador se requiere una lectura promedio de la humedad y la temperatura dentro del mismo, por lo que se implementó una red de 15 sensores colocados de manera estratégica en puntos intermedios entre las charolas, por debajo, en medio y por arriba de las mismas. Teniendo 4 sensores en 3 paredes de la cámara de secado y 3 sensores más justo entre la puerta de acceso a la cámara y la salida de aire de la misma.

Para permitir la circulación de aire dentro de la cámara de secado y sacar la humedad que se va liberando en el proceso de secado se instalaron cuatro ventiladores. La velocidad con la que operan estos ventiladores se

obtiene mediante la señal PWM que proporciona el controlador difuso. También se instalaron cuatro focos en la cámara de secado para ayudar a que la temperatura se incremente más rápidamente en los días poco soleados.

Todos los sensores y actuadores se conectaron a un Sistema Embebido Arduino MEGA, en el cual se programó el sistema de control difuso.

4. RESULTADOS

Una vez terminada la aplicación de pintura gris se realiza una prueba de temperatura con el fin identificar el pico más alto de la curva de secado, como se muestra en la figura 7.

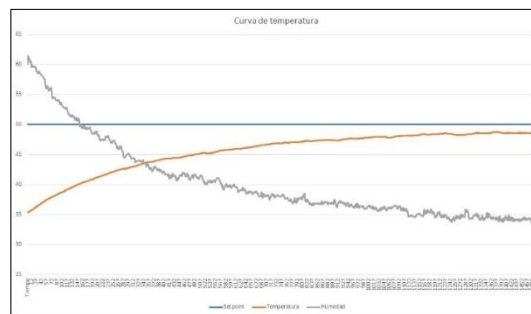


Figura 7. Curva de temperatura con pintura gris

Se realiza una nueva capa de pintura de color negro para visualizar el efecto que esta tiene sobre la cámara de secado. Se realiza otra prueba de temperatura, con el fin de identificar algún cambio significativo en la curva de secado observándose el comportamiento mostrado en la figura 8.

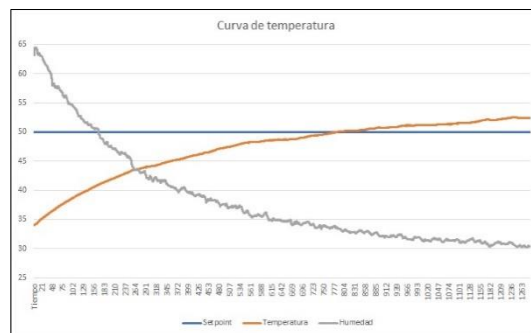


Figura 8. Curva de temperatura con pintura negra

Al aplicar la pintura negra a la parte exterior del módulo de la cámara de secado, se observa un aumento de 2°C con respecto a la prueba anterior en aproximadamente el mismo tiempo.

Posteriormente se realizan pruebas con un recubrimiento de papel aluminio en la parte interna de la cámara de secado, disminuyendo el tiempo en el cual se llega a la temperatura deseada como se presenta en la figura 9.

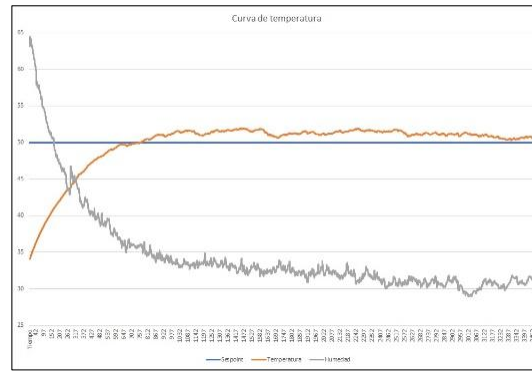


Figura 9. Curva de temperatura con recubrimiento de papel aluminio en el interior de la cámara de secado.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Comparando los resultados de las pruebas de temperatura del módulo de cámara de secado, se observa que, cuando se aplica una capa de pintura negra en la parte exterior de la cámara de secado y en el colector solar se disminuye el tiempo requerido para alcanzar la temperatura deseada. Este tiempo se logra reducir más cuando se cubre con papel aluminio el interior de la cámara de secado. También se observa que el comportamiento de la temperatura es más estable al llegar a su pico máximo, a su vez, el tiempo de respuesta fue mucho menor con el recubrimiento de aluminio que con las dos primeras pruebas realizadas.

Se propuso realizar las pruebas de secado con condiciones ambientales similares, tanto en temperatura como en cielos despejados; sin embargo, no es posible controlar estas condiciones, por lo que se decidió trabajar con las pruebas solo evitando días de lluvia. Contrario a lo que se esperaba, a pesar de que unos días fueron más calurosos que otros y los cielos intermitentemente nublados, la lógica difusa reaccionó de manera eficaz controlando oportunamente los ventiladores y las resistencias (focos) para mantener la temperatura y la humedad dentro de los rangos programados.

De manera satisfactoria el secador solar redujo el tiempo en la que la hoja de moringa pierde su humedad sin llegar a ser agresivos durante el proceso de secado, en comparación al método tradicional de secado bajo al sol, que necesita en promedio 2 horas más de secado para reducir por completo su porcentaje de humedad

EL deshidratador desarrollado también se puede usar para secar otros tipos de hojas o semillas como el café, el cual es de alto consumo en el país y sobre todo en la región del estado de Veracruz.

REFERENCIAS

- [1] Ruiz L. E. 2011. Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con paraíso blanco (*Moringa oleífera*) y su respectiva evaluación nutricional. Tesis de licenciatura en Ingeniería Química. Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 39:40- 1:6.
- [2] Meena, A. K., Sachan, A., Kaur, R., Pal, B and Singh, B. 2010. *Moringa oleífera*: A review. *Journal of Pharmacy Research*. 3:840-842.
- [3] Hernández-Torres Y. 2018. Efecto del tipo de secador sobre la calidad fisicoquímica de harina de moringa (*Moringa oleífera* L.). 423-429. *IEEE Transactions on systems*, pp.404-418.
- [4] Duban Henao José, Soto Agustín (2010). Automatización de secador de café (tipo silo) de laboratorio. Universidad Surcolombiana.

- [5] González Sánchez Ingrid Johana (2014). Diseño y prototipo de secador de café excelso automatizado con sistema SCADA. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [6] Pavón Gómez Guadalupe. 2015. Sistema Híbrido termo solar-eólico para la conservación de productos agropecuarios. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables.
- [7] Coyoy Chicas Janiel. 2017. Diseño y construcción de un deshidratador solar para secado de paraíso blanco (Moringa Oleífera Lam) en la zona oriente de Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
- [8] De la Vega Sánchez Francisco Franco. 2017. Diseño y construcción de un deshidratador de plátano mediante el aprovechamiento de energía solar pasiva para los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato, Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- [9] Iglesias Díaz, Rolan. Grimaldi Guitierrez, Rosa V. Villanueva Galido, Blanca E. Hernandez Jarquin, Juana M. Lopez de Paz, Pascual. Lastres Danguillecourt, Orlando. 2018. Cinética de secado de Moringa Oleífera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, volumen 9, número 5. P. 935-947.
- [10] Balkeshwar S. y Kumar M.A. (2015) Fuzzy Logic Control System and its applications.
- [11] Chuen C. Lee. (1990). Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part1.

Correo de autor de correspondencia: jose.hr@veracruz.tecnm.mx