risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 13/05/2024
Aceitação/Acceptance: 21/07/2024

Sistema Integral para Determinar el Riesgo de Proliferación de Sigatoka Negra en Cultivos de Plátano

David Enrique Rosales-Manzo[1], Noel García-Díaz[1], Ana Claudia Ruiz-Tadeo[1], Juan García-Virgen[1], Johann Fernando Hoyos Patiño[2], Dewar Rico Bautista[3], Olimpo Lua-Madrigal[4]

drosales2612@gmail.com; ngarcia@colima.tecnm.mx; aruiz@colima.tecnm.mx; jgarcia@colima.tecnm.mx; jfhoyosp@ufpso.edu.co; dwricob@ufpso.edu.co; olimpo.lua@colima.tecnm.mx

[1] Tecnológico Nacional de México campus Colima, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico No. 1, Colonia Liberación, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, México.

[2] Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia. Departamento de Ciencias Pecuarias.

[3] Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia. Departamento de Sistemas e Informática.

[4] Tecnológico Nacional de México campus Colima, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Av. Tecnológico No. 1, Colonia Liberación, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, México.

Pages: 215-227

Resumen: El cultivo de plátano es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial, sin embargo, su calidad se ve afectada por enfermedades como la sigatoka negra, siendo la enfermedad que genera mayores pérdidas económicas. Las principales variables que influyen en la aparición de la enfermedad son temperatura y humedad relativa. Este trabajo de investigación propone un sistema integral para determinar el riesgo de proliferación de sigatoka negra. Obteniendo los valores de las variables mediante sensores y siendo enviados a un equipo de cómputo, que se encargara de analizar los datos mediante un sistema difuso tipo Takagi-Sugeno, con salida constante; donde se almacenan posteriormente. Este sistema se diseñó como una herramienta de apoyo para la detección de la sigatoka negra, presentando un enfoque innovador utilizando lógica difusa que contribuye a prevenir el riesgo de proliferación de la sigatoka negra, otorgándole a los productores de plátano una herramienta para combatir el agente patógeno.

Palabras-clave: lógica difusa; takagi-sugeno; arduino; sistema web.

Integral System to Determine the Risk of Black Sigatoka Proliferation on Banana Crops

Abstract: Banana cultivation are the fourth most important crop worldwide, however, its quality is affected by diseases such as black sigatoka, being the disease

that generates the greatest economic losses. The principal variables that affect on the apparition of the disease are temperature and relative humidity. This research paper propose an integral system to determine the risk of black sigatoka proliferation. Obtaining the values of variables by using sensors and sending to a computer, which is responsible for data analysis through a fuzzy system Takagi-Sugeno type, with a constant output; later they are stored. This system was designed as a support tool for the black sigatoka detection, presenting an innovative approach using fuzzy logic that will help to prevent the risk of black sigatoka proliferation, giving banana crop growers a tool to fight the pathogen.

Keywords: fuzzy logic; takagi-sugeno; arduino; arduino; web system.

1. Introducción

El plátano es uno de los cultivos con mayor importancia mundialmente, debido a que se ubica como el cuarto cultivo más importante a nivel mundial, detrás del arroz, trigo y maíz; además es el fruto tropical más importante, siendo una buena fuente de ingresos. El cultivo de plátano se realiza en más de 120 países, con una producción mundial superior a los 100 millones de toneladas al año. Por tal motivo, el plátano es el principal alimento de al menos 400 millones de personas, contando con un gran contenido de carbohidratos, vitaminas y minerales (Manzo-Sánchez et al., 2014).

En 2019, la exportación global de plátano alcanzó un nuevo récord con aproximadamente 20.2 millones de toneladas, un aumento del 5% en comparación con 2018. Por otra parte, las exportaciones de América Latina y el Caribe aumentaron un 2% en 2019, a 15 millones de ton, debido al fuerte crecimiento en los envíos en varias de los países exportadores (FAO, 2019).

México es uno de los principales países productores y exportadores de plátano, ubicándose en el décimo segundo lugar de los países productores en 2017, con una producción aproximada de 2.2 millones de ton de plátano (CEDRSSA, 2019). De acuerdo con FAO (2019), México se sitúa en séptimo lugar de los países exportadores en 2019, con una cantidad de 585 miles de ton, aumentando un 4% en comparación con el 2018.

En el ámbito nacional, se estableció una intención de cosecha de 2.3 millones de ton de plátano para el 2018, de las cuales en el estado de Colima se estimaron aproximadamente 206 mil ton, por lo cual se ubicó como el cuarto estado productor de plátano, por detrás de Chiapas, Tabasco y Veracruz (SAGARPA, 2018).

La calidad del cultivo de plátano es afectada por la aparición de enfermedades y plagas. La principal enfermedad que afecta los cultivos es la sigatoka negra, siendo detectada por primera vez en 1981 en los estados de Tabasco y Chiapas, posteriormente se manifestó en el estado de Colima en 1989, ocasionando pérdidas y aumentando el costo de producción (Vázquez Castrejón et al., 2005).

En el estado de Colima, los cultivos han sido afectados por sigatoka negra desde su primera aparición, y, debido a que las condiciones climáticas para el crecimiento de platino son similares a las que propician la aparición de la enfermedad, no se ha podido erradicar en su totalidad. La sigatoka negra es ocasionada por el hongo Mycosphaerella fijiensis Morelet, ocasionando que los racimos y frutas tengan menor peso y causa la madurez prematura del fruto. La presencia de la enfermedad se puede reconocer con

la aparición de rayas o estrías de color amarillo o marrón en las hojas (Álvarez et al., 2013). Además, al ser un hongo que se transmite sexualmente mediante esporas, puede moverse de una planta infectada a una planta sana.

Por experiencia de los investigadores, se observaron casos en que los productores de plátano prefieren dejar morir el cultivo y perder toda la producción de plátano, debido a que el tratamiento contra la enfermedad ocasiona que deje de ser redituable. Asimismo, estas situaciones son peligrosas para los cultivos aledaños, debido a que el hongo puede transportarse fácilmente hacia otras plantaciones de plátano cuando el foco de infestación se encuentra cercano.

La principal causa de la aparición de la sigatoka negra es la condición de las variables de temperatura y humedad relativa. El plátano requiere de temperaturas en un rango de 20°C a 30°C, que son relativamente altas, de otro modo, puede presentar decoloración en la parte exterior y se desarrolla más lento. Debido a que el cultivo de plátano está constituido por 85% de agua, requiere de humedad constante, por lo que la humedad relativa es importante para el crecimiento del plátano, de lo contrario pierde agua y puede presentar cambio de coloración en las zonas rozadas del fruto (Vázquez Castrejón et al., 2005).

Algunos trabajos relacionados que han tratado de solucionar esta problemática como el propuesto por Cárdenas-Valdovinos et al. (2017), quienes construyeron un módulo para obtener los valores de humedad relativa y temperatura, examinándolos por medio de lógica difusa utilizando un sistema de inferencia tipo Mamdani para la detección del riesgo de proliferación. Por otro lado, Subert-Semanat (2018) implementó una casa meteorológica, para la recolección de datos temperatura, intensidad y duración de las lluvias y evaporación, analizó los datos por medio del método Stover para la detección y realizó la correlación entre los datos y la gravedad de la enfermedad para la predicción del patógeno.

En el trabajo propuesto por Rosales-Manzo et al. (2020), proponen un sistema difuso tipo Takagi-Sugeno, con salida constante, para analizar el riesgo de proliferación de sigatoka negra, basándose en las condiciones climáticas de humedad y temperatura. En cambio, Nagaraju & Shankar (2017) realizaron una red de sensores inalámbricos para obtener la temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y lluvia, elaboraron un análisis para encontrar patrones basados en el contexto para el cultivo, comparando los datos obtenidos por medio de los sensores con los valores almacenados en una base de datos para determinar la gravedad de la sigatoka negra.

Dos trabajos utilizan variables que no influyen significativamente en la propagación de la sigatoka negra (Subert-Semanat, 2018; Nagaraju & Shankar, 2017), por otro lado, Subert-Semanat (2018) emplea el método Stover, sin embargo, este método no ayuda a obtener el riesgo de proliferación, en cambio, detecta cuando la enfermedad está presente. Solo dos trabajos emplean lógica difusa (Rosales-Manzo et al., 2020; Cárdenas-Valdovinos et al., 2017), sin embargo, Cárdenas-Valdovinos et al. (2017) emplea un sistema difuso tipo Mamdani para determinar el riesgo de proliferación, y, a pesar de que Rosales-Manzo et al. (2020) realizaron validaciones con datos, ambos trabajos solo realizan el modelado y propuesta, sin realizar la recolección y despliegue de datos, tal como se llevó a cabo en el presente artículo.

El resto de este trabajo se estructura de la siguiente manera: En la sección 2 del artículo, titulado Herramientas de implementación, se presentan los materiales utilizados para la realización del proyecto y una breve descripción de los mismos; En la sección 3, llamado Propuesta, se describen los objetivos y funcionamiento del sistema, así como también, se detalla la creación de los diferentes módulos que componen el sistema; Enseguida los resultados obtenidos con la realización del sistema son presentados en la sección 4; Finalmente, el trabajo se concluye y se presentan posibles trabajos futuros en la sección 5.

2. Herramientas de Implementación

En esta sección se describen las principales herramientas, tanto software como hardware, utilizadas en el presente trabajo de investigación.

2.1. Hardware

Este trabajo se enfoca en el uso de la placa programable Arduino creada en el 2005 en el Instituto de Instituto de Diseño Interativo de Ivrea en Italia, con la finalidad de ser una placa programable de bajo costo. Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica que cuenta con microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra, permitiendo establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla (MCI electronics, 2018).

Para la recolección de los valores de las variables de humedad relativa y temperatura se requirió el sensor DHT22, debido a que la salida es señal digital calibrada y utiliza la exclusiva técnica de recolección de señales digitales y la tecnología de detección de humedad, asegurando su confiabilidad y estabilidad, además, es un sensor de bajo costo, bajo consumo y tamaño pequeño (Liu, 2016).

Debido a que se requiere que los sensores sean implementados en el cultivo, se requiere un modo de comunicación entre los sensores y el equipo de cómputo encargado del despliegue de los datos, se optó por la comunicación por medio del protocolo Zig bee haciendo uso del módulo Xbee, los cuales son pequeñas radios que pueden comunicarse de forma inalámbrica unas con otras, cuentan con entradas y salidas digitales y analógicas que puedes controlar y conectar sensores (Ingeniería MCI Ltda, 2020).

2.2. Software

2.2.1. Lógica Difusa

Un conjunto difuso es una clase de objetos que poseen un grado continuo de membresía, permitiendo las nociones de inclusión, unión, intersección, complemento, entre otras en el contexto de conjuntos difusos (Zadeh, 1965). De acuerdo con Zadeh (1996), la lógica difusa, como su nombre lo indica, es la lógica subyacente a los modos de razonamiento que son aproximados en lugar de exactos. La importancia de la lógica difusa se deriva del hecho de que la mayoría de los modos de razonamiento humano, y especialmente la razón de sentido común, son de naturaleza aproximada.

La lógica difusa representa modelos o conocimiento utilizando la lógica IF-THEN en la forma de "si X entonces Y" ("if X then Y"). Generalmente existen dos tipos de Sistemas de Inferencia Difusa (SID o por sus siglas en ingles FIS), Mamdani y Takagi-Sugeno. Para este trabajo de investigación se implementó el FIS tipo Takagi-Sugeno para el sistema difuso.

2.2.2. Django

Para el despliegue de los datos se realizó una interfaz gráfica alojada en un servidor web local, facilitando la visualización y comprensión de los datos. Se utilizó Django, el cual es un framework web de Python de alto nivel que fomenta un desarrollo rápido y pragmático, además, se basa en la estructura Modelo-Vista-Controlador (MVC) (Django Software Foundation, 2019).

3. Propuesta

En este trabajo de investigación, se implementa un sistema integral para determinar el riesgo de proliferación de sigatoka negra. Esta sección describe el objetivo de esta aplicación, su descripción técnica y sus componentes principales.

3.1. Objetivo del sistema

El objetivo general es desarrollar un Sistema de Inferencia Difuso tipo Takagi-Sugeno que detecte el riesgo de proliferación de sigatoka negra en cultivos de plátano por medio del monitoreo de humedad y temperatura. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Configurar el módulo sensor para obtener los datos de las variables humedad y temperatura.
- Establecer la conexión entre el módulo sensor con el módulo de adquisición de datos.
- Crear el sistema de inferencia difuso para el análisis de los datos obtenidos.
- Elaborar una interfaz gráfica para facilitar la visualización de los datos.

3.2. Descripción del sistema

El sistema integral (Figura 1) se encargará de monitorizar los cultivos de plátano por medio de sensores para obtener las variables climáticas de temperatura y humedad ambiental. Los datos son recolectados por el módulo sensor y enviados utilizando una interfaz de hardware al módulo de adquisición de datos, que se encarga de recibir los datos de las variables climáticas. En caso de que no se establezca conexión entre los módulos, el módulo sensor cuenta con una tarjeta SD (por sus siglas en inglés: Secure Digital) para almacenamiento local de los datos, que son transmitidos cuando la conexión se restablezca.

Los datos procesados por el módulo de adquisición de datos serán recibidos en el servidor local, mismo que se encargara del análisis por medio de un sistema de inferencia difuso tipo Takagi-Sugeno. Posteriormente se almacenan en una base de datos para mantener un registro histórico. Finalmente son extraídos de la base de datos y desplegados en una interfaz gráfica para facilitar su interpretación al usuario.

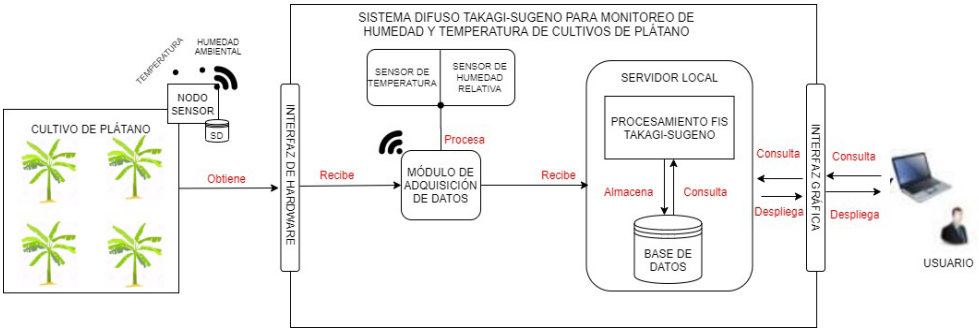


Figura 1 – Modelo conceptual del sistema

3.3. Módulos del sistema

El sistema propuesto se compone de cuatro módulos: (1) módulo sensor; (2) módulo de adquisición de datos; (3) sistema difuso y (4) almacenamiento de los datos.

3.3.1. Módulo sensor

El módulo sensor, mostrado en la Figura 2, se encarga de obtener los datos de las variables climáticas de temperatura y humedad relativa por medio del sensor DHT22. Posteriormente se envían mediante xbee al módulo de adquisición de datos junto con la fecha y hora obtenidas del reloj de tiempo real DS3231, esperando respuesta de la recepción de los datos. Si no se obtiene respuesta, se almacenan en un archivo CSV (por sus siglas en inglés Comma Separated Values) en la tarjeta microSD incluida en el módulo. En caso de obtener respuesta del módulo de adquisición de datos, se envía el archivo CSV con los datos almacenados en la tarjeta microSD y finalmente se hiberna aproximadamente durante 15 minutos para ahorrar energía.

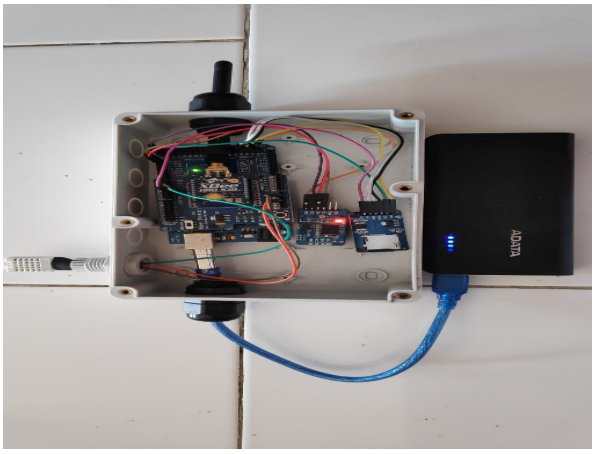


Figura 2 – Modelo sensor

Los componentes del módulo sensor son:

- Arduino Mega
- Xbee pro s3b RP-SMA
- Sensor DHT22
- Reloj de tiempo real DS3231
- Módulo microSD
- Tarjeta microSD de 4gb
- Gabinete o caja nema
- Power Bank Adata de 10000 mAh

3.3.1. Módulo de adquisición de datos

El módulo de adquisición de datos, mostrado en la Figura 3, obtiene los datos del módulo sensor por medio del xbee y envía una respuesta para confirmar la correcta recepción de los mismos. El módulo de adquisición de datos se encuentra conectado al equipo de cómputo encargado del almacenamiento de datos, que, además de proporcionarle energía al módulo, recibe los datos por medio del Arduino utilizando el puerto serial.

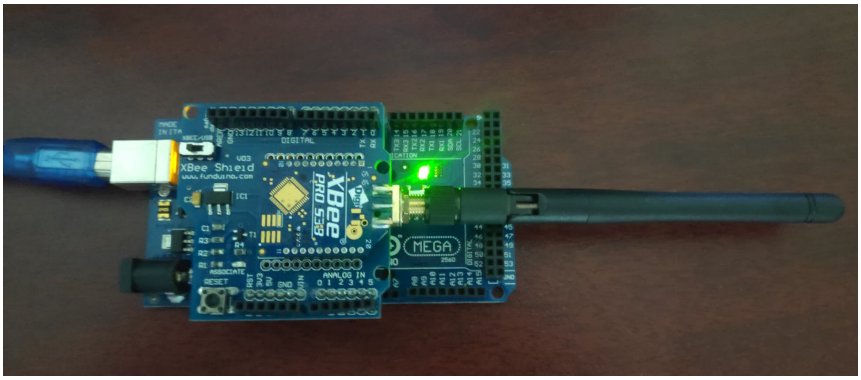


Figura 3 – Modelo de adquisición de datos

Los componentes del modelo de adquisición de datos son:

- Arduino Mega
- Xbee pro s3b RP-SMA

3.3.2. Sistema difuso

El riesgo de proliferación de sigatoka negra se obtiene mediante el análisis de las variables climáticas de temperatura ambiental y humedad relativa, haciendo uso de un sistema difuso tipo Takagi-Sugeno con salida constante, presentado en el trabajo de Rosales Manzo et al. (2020). El sistema difuso fue implementado utilizando la librería Scikit-Fuzzy, la cual es una colección de algoritmos de lógica difusa escritos en el lenguaje informático Python.

3.3.2.1. Variables

La Tabla 1 muestra las variables y sus características utilizadas en el sistema difuso.

Variable	Tipo de variable	Función de membresía	Número de funciones de membresía
Temperatura ambiental	Entrada	Gaussianas	3
Humedad relativa	Entrada	Trapezoidales	3
Proliferación	Salida	Constante	3

Tabla 1 – Variables de entrada del sistema difuso

La Tabla 2 muestra el rango de las funciones de membresía de las variables utilizadas en el sistema difuso propuesto.

Variable	Nombre	Parámetros			
Temperatura ambiental (°)		K		m	
	Baja	4		13	
	Media	2		25.5	
	Alta	4		38	
Humedad relativa (%)		a	b	c	d
	Poca	0	0	20	35
	Media	22.5	42.5	57.5	77.5
	Mucha	65	80	100	100
Proliferación	Bajo	0			
	Medio	5			
	Alto	10			

Tabla 2 – Rangos de las Funciones de Membresía de las Variables

3.3.2.2. Reglas

La Tabla 3 muestra las combinaciones de las reglas establecidas en el sistema difuso.

Humedad/ Temperatura	Poca	Media	Mucha
Baja	Bajo	Bajo	Medio
Media	Medio	Medio	Alto
Alta	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 3 – Reglas del sistema difuso

3.3.2.3. Simulación

Para simular el sistema difuso propuesto se utilizó MATLAB, consiguiendo la relación de las variables de entrada, temperatura ambiental y humedad relativa, para obtener la variable de salida, riesgo de proliferación. Como se muestra en la Figura 4, el mayor riesgo de proliferación respecto a la temperatura se concentra en la parte central, en cambio, para la variable humedad se concentra en la parte alta. Por otro lado, se puede observar que el menor riesgo de proliferación con respecto a la variable temperatura se ubica en los extremos inferior y superior, mientras que a menor humedad es menor el riesgo de proliferación.

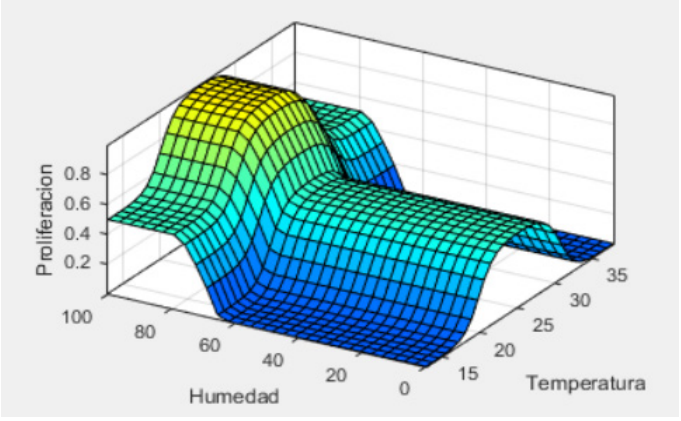


Figura 4 – Simulación del sistema difuso

El conjunto de datos del presente estudio se obtuvo del trabajo presentado en Rosales-Manzo et al. (2020), donde utilizaron 54 datos a los cuales se les realizó pruebas estadísticas de validación, donde se obtuvo un valor de coeficiente de determinación $r^2 = 0.902$ que, de acuerdo con Humphrey (1995), un modelo predictivo se considera aceptable cuando $r^2 \geq 0.5$. Además, el análisis de varianza permitió determinar que las variables de entrada del sistema difuso son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0%, así como también, la prueba de normalidad permitió rechazar la idea de que las estimaciones provienen de una distribución normal con 95% de confianza.

3.3.2.4. Almacenamiento de datos

Para el almacenamiento de datos se optó por utilizar una base de datos en MySQL, lo que permite tener un registro histórico para el análisis de los mismos. Para ello, se utiliza un equipo de cómputo que cuenta con el servidor web local encargado de alojar la base de datos, además, el equipo de cómputo contiene con una rutina que toma los datos del puerto serial, enviados por el módulo de adquisición de datos, realiza el análisis por medio del sistema difuso y obtiene el riesgo de proliferación, posteriormente los muestra en la terminal de Windows, como se muestra en la Figura 5.

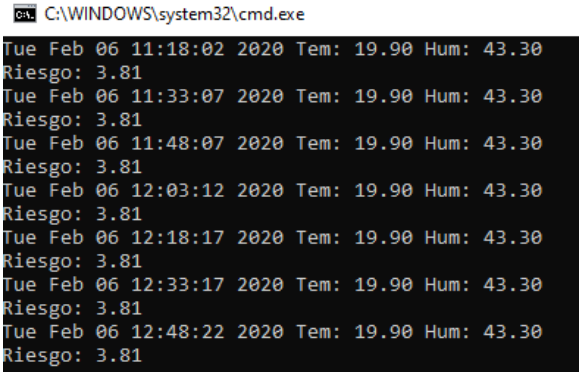


Figura 5 – Terminal de comandos mostrando los datos recibidos y analizados

Finalmente, los valores de temperatura, humedad relativa y riesgo de proliferación, obtenido del análisis mediante el sistema difuso son almacenados en la base de datos, junto con la hora y fecha de censado. La Figura 6 muestra algunos valores almacenados en la base de datos.

	id	fecha	hora	temperatura	humedad_relativa	riesgo
Editar Copiar Borrar	101	2020-02-04	15:18:00.000000	24.30	70.50	4.91
Editar Copiar Borrar	102	2020-02-04	15:33:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	103	2020-02-04	15:48:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	104	2020-02-04	16:03:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	105	2020-02-04	16:18:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	106	2020-02-04	16:33:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	107	2020-02-04	16:48:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	108	2020-02-04	17:03:00.000000	25.50	70.10	4.87
Editar Copiar Borrar	109	2020-02-04	17:18:00.000000	25.50	70.10	4.87

Figura 6 – Tabla de los datos almacenados

4. Resultados

Se obtuvo como producto una aplicación que realiza la obtención y registro de las variables temperatura y humedad relativa durante las 24 horas del día, obteniendo 96 datos diarios, sin necesidad de intervención de los usuarios. El tiempo desde que se obtienen los valores del sensor hasta que se almacenan y se muestran en la interfaz es menor a 10 segundos.

También se obtuvo la interfaz gráfica que muestra los últimos valores almacenados de riesgo de proliferación, temperatura y humedad relativa, además, la fecha y hora en la que se obtuvieron dichos valores, como se visualiza en la Figura 7. También permite la visualización en forma de gráfica y tabla de los datos obtenidos en el transcurso del día.

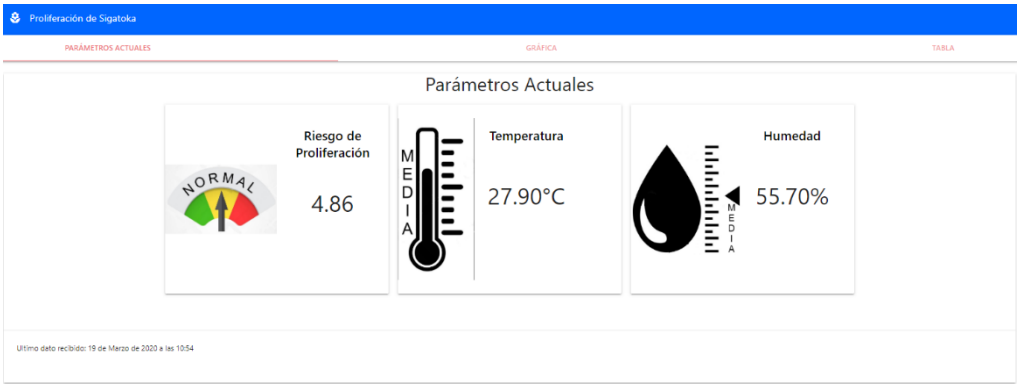


Figura 7 – Ventana principal de la interfaz gráfica

Además, la interfaz cuenta con el despliegue de los datos históricos, permitiendo visualizar la gráfica y tabla de todos los datos, promedio por hora y promedio diario del rango de fechas seleccionado, como se muestra en la Figura 8.

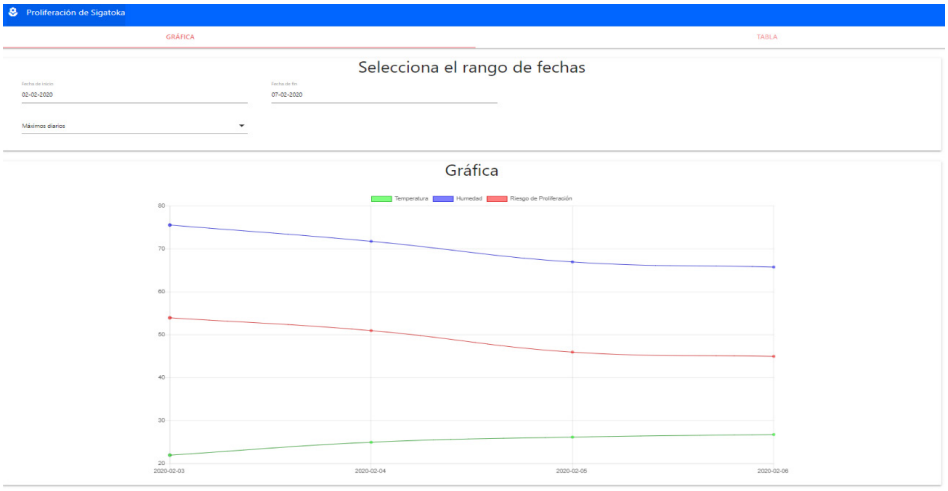


Figura 8 – Registros históricos

5. Conclusiones

El sistema integral propuesto es una aplicación web, la cual es muy útil no solo para conocer los valores de las variables temperatura y humedad relativa del cultivo en tiempo cuasi-real, sino que además, cuenta con el análisis de los datos obtenidos por medio de lógica difusa para conocer el riesgo de proliferación de sigatoka negra. Como se mostró en el presente trabajo, el sistema es una herramienta de bajo costo, a través del cual los productores de plátano pueden visualizar el riesgo de proliferación de la

sigatoka negra para tomar acciones frente a la enfermedad, además, pueden acceder a información histórica.

Una vez elaborado el sistema integral se propone como trabajo a futuro:

- Replicar este trabajo con un sistema difuso Mamdani y hacer el comparativo con el presente trabajo, para ver cual tiene más precisión.
- Implementación en un cultivo de plátano para observar el funcionamiento en un ambiente real.
- Modificar el sistema difuso e incluir otros sensores para la detección de un rango más amplio de plagas en distintos cultivos.
- Emplear otras técnicas de Inteligencia Artificial y comparar resultados.

Agradecimientos: Agradecemos al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), al Tecnológico Nacional de México campus Colima, así como al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por su apoyo brindado para la elaboración de este trabajo. De manera especial expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia, así como de manera personal a la M.C. Ana Rosa Braña Castillo, directora del Tecnológico Nacional de México campus Colima, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Referencias

Álvarez, E., Pantoja, A., Gañan, L., & Ceballos, G. (Julio de 2013). La Sigatoka negra en plátano y banano. Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar. Obtenido de *FAO: http://www.fao.org/3/as089s/as089s.pdf*

Cárdenas-Valdovinos, E., García-Díaz, N., García-Virgen, J., & Flores-Gallegos, E. (2017). Modelo difuso para predecir la proliferación de plaga "Sigatoka Negra" en el cultivo. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 1(1), 16-21.

CEDRSSA. (22 de Agosto de 2019). La producción y el comercio del plátano. Obtenido de *Estudios e Investigaciones: http://www.cedrssa.gob.mx/post_la_produccinin_y_el_comercio_del_-n-plnotano-n.htm*

Django Software Foundation. (2019). Meet Django. Obtenido de *https://www.djangoproject.com*

FAO. (2020). Análisis del mercado del banano. Resultados preliminares relativos a 2019. Obtenido de *http://www.fao.org/3/ca7567es/ca7567es.pdf*

Humphrey, W. S. (1995). A Discipline for Software Engineering. Addison-Wesley Professional. ISBN: 978-0201546101.

Ingeniería MCI Ltda. (s.f.). ¿Qué es XBee?. Obtenido de *Digi XBee: https://xbee.cl/que-es-xbee/*

Liu, T. (2016). Digital relative humidity & temperature sensor AM2302/DHT22. Obtenido de *https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf*

López-Martín, C., Yáñez-Márquez, C., & Gutiérrez-Tornés, A. (2008). Predictive accuracy comparison of fuzzy models for software development effort of small programs. *The journal of systems and software*, 81(6), 949-960. doi: https://doi.org/10.1016/j.jss.2007.08.027

Manzo-Sánchez, G., Orozco-Santos, M., Martínez-Bolaños, L., Garrido-Ramírez, E., & Canto-Canche, B. (2014). Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32(2), 89-107.

MCI electronics. (2018). ¿Qué es Arduino?. Obtenido de *Arduino.cl: http://arduino.cl/que-es-arduino/*

Nagaraju, B., & Shankar, P. (2017). Precision Agriculture for Banana Using Wireless Sensor Network. En *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation*, (pp. 1-6). Pune, India: IEEE. doi: https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2017.8464007.

Rosales-Manzo, D., García-Díaz, N., Ruiz-Tadeo, A., García-Virgen, J., & Farías-Mendoza, N. (2020). Sistema difuso Takagi-Sugeno para predecir el riesgo de propagación de Sigatoka Negra. *Revista Internacional de Investigación e Innovación*, 8(44), 12-28.

SAGARPA. (2018). Resumen Nacional: Intención de Cosecha 2018. Obtenido de *http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/intension/Intencion_cosechaPerenne_cultivo2018.pdf*

Subert-Semanat, A. (2018). Poster: Wireless Sensor Network to Predict Black Sigatoka in Banana Cultivations. En *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, (pp. 159-164). Düsseldorf, Alemania: Springer.

Vázquez Castrejón, R., Romero Cadena, A., & Figueroa Viera, J. (2005). Paquete tecnológico para el cultivo de plátano. Obtenido de *http://www.campocolima.gob.mx/paginaOEIDRUS/paquete%20tecnologico%20del%20platano.pdf*

Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 338-353. doi: https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

Zadeh, L. (1996). Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems. World Scientific.

© 2024. This work is published under https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/(the “License”). Notwithstanding the ProQuest Terms and Conditions, you may use this content in accordance with the terms of the License.