

DISEÑO DE SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE EN INVERNADERO DE ESQUEJE DE STEVIA REBAUDIANA MORITA II

Márquez-Almaraz Dante-Alberto, García-Díaz Noel, García-Virgen Juan, Verduzco-Ramírez Jesús-Alberto, Herrera-Morales José-Román, Ruiz-Tadeo Ana-Claudia
Tecnológico Nacional de México campus Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico No.1 Villa de Álvarez, Col. C.P. 28976 Villa de Álvarez, colonia Liberación
Tel.+523123126393
g2146002@colima.tecnm.mx, ngarcia@colima.tecnm.mx, jgarcia@colima.tecnm.mx,
averduzco@colima.tecnm.mx, rherrera@uol.mx, aruiz@colima.tecnm.mx

RESUMEN.

La agricultura ha sido el sustento y desarrollo de la humanidad, por lo que en los últimos años se ha buscado implementar nuevas tecnologías en este sector. La Stevia, de nombre científico (*Stevia Rebaudiana Bertoni*), es una planta perenne usada en distintos países por sus propiedades edulcorantes, sin embargo, para obtener cultivos de calidad, es necesaria su reproducción asexual dentro de invernaderos. Por lo anterior, para obtener una mejor producción, se diseñó un sistema de inferencia difuso para el monitoreo inteligente en el interior de un invernadero de esqueje de Stevia, en el que sus variables de entrada son Temperatura y Humedad Relativa, mientras que su variable de salida es Calidad Ambiente, la cual generará un resultado de Baja, Media y Alta para el estado de las condiciones de la producción de Stevia. Con el modelo propuesto el productor tendrá un mejor control en la calidad del ambiente del invernadero lo que implicará beneficios y menores pérdidas de producto.

Palabras clave: Esqueje, Invernadero, Lógica difusa, Stevia.

ABSTRACT.

Agriculture has been the sustenance and development of humanity, so in recent years it has sought to implement new technologies in this sector. Stevia, with its scientific name (*Stevia Rebaudiana Bertoni*), is a perennial plant used in different countries for its sweetening properties, however, to obtain quality crops, its asexual reproduction inside greenhouses is necessary. Therefore, in order to obtain better production, a fuzzy inference system was designed for intelligent monitoring inside a Stevia cutting greenhouse, in which its input variables are Temperature and Relative Humidity, while its output variable is Quality Environment, which will generate a result of Low, Medium and High for the status of Stevia production conditions. With the proposed model, the producer will have better control over the quality of the greenhouse environment, which will imply less product loss.

Key words: Cutting, Greenhouse, Fuzzy Logic, Stevia.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

La práctica de la agricultura ha sido la base del sustento y desarrollo de la sociedad humana [1]. En los últimos 40 años, la productividad agrícola ha aumentado debido a las tecnologías desarrolladas en el uso de los recursos naturales [2]. Siendo ésta de gran ayuda en la producción de plantas, propiciando con ello ambientes controlados.

Dos de los factores más importantes que perjudican el rendimiento de los cultivos es la elevada variación de la temperatura y la humedad [2], debido a que son variables que determinan la calidad y el desarrollo del producto agrícola.

1.2. Stevia.

La Stevia, de nombre científico (*Stevia Rebaudiana Bertoni*), es originaria de Argentina, Brasil y Paraguay, esta es una planta perenne, la cual contiene esteviósidos y rebaudiósidos, propiedades edulcorantes por las cuales es mundialmente conocida [3]. Debido a sus propiedades edulcorantes, más de 150 países han aprobado su uso en alimentos y bebidas.

Actualmente se cultiva en países como: China, Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, Vietnam, Israel, Kenia, Australia, Colombia, Malasia y México [4]. Asia y América son los continentes que más la cultivan.

Hoy en día, China es el mayor productor de Stevia a nivel mundial, el 50% de su producción lo comercializa internamente, el 40% se exporta a Japón y a Corea, mientras que a Estados Unidos e Indonesia el 10% [5]. Después de realizar una búsqueda en diversas fuentes de información, hasta hoy en día, se desconocen con certeza los niveles de producción y exportación en México.

La Stevia fue introducida a México en el año 2010, en el sur del país a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) [6].

México cuenta con zonas propicias para cultivarla con éxito, presentando condiciones ecológicas ideales como el clima, suelos, topografía, hidrología y altitud entre otras [5]. Actualmente, estados de la república mexicana como Quintana Roo, Yucatán, Nayarit, Chiapas, Veracruz y Colima la cultivan

de manera comercial, siendo Sinaloa el estado con mejores condiciones para su crecimiento.

La Stevia se desarrolla en climas con lluvias prominentes de aproximadamente 1,400 a 1,800 mm anuales, suelo arcilloso y existen variables que ayudan a mejorar su desarrollo, tales como la temperatura la cual debe estar entre los 15 y 30 °C, con una humedad relativa entre el 75% y el 85%. Además, una variable relevante para el crecimiento de la planta en suelo es el potencial de hidrógeno (pH) que debe estar entre 6.5 y 7.5 [7].

Las condiciones tanto climatológicas como hidrológicas del estado de Colima, México, favorecen el cultivo de Stevia, ya sea en suelo o invernadero, predominando el clima cálido subhúmedo, el cual permite condiciones propicias para la producción del sector agrícola, siendo así, una fuente económica considerable.

La finca “Rancho Tajeli” (<https://www.ranchotajeli.com/>) es una empresa familiar colimense ubicada en el municipio de Cuauhtémoc, estado de Colima fundada en 2015 con el propósito de cultivar e industrializar la Stevia.

En el presente trabajo se realiza una propuesta de monitoreo inteligente mediante un sistema de inferencia difuso (SID) para tecnificar el proceso de cultivo y buscar la mejora de la calidad en su producción.



Fig. 1. Vista satelital “Rancho Tajeli”.

1.3. Esqueje.

La reproducción de la Stevia puede ser de tipo sexual y asexual, [6], es decir, a partir de esquejes, que tiene la ventaja de producir plantas de características iguales a la planta madre, conservando así, rasgos de productividad y calidad deseados [6].

Entre los principales reguladores del crecimiento del esqueje de Stevia se encuentra el pH, humedad, temperatura y control de iluminación [6].

Para este trabajo en particular se toman en cuenta 2 variables mencionadas anteriormente, la temperatura y la humedad. Los

datos ideales para su producción se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Rangos óptimos de variables del esqueje de Stevia.

Variable	Baja	Media	Alta
Temperatura (°C)	<15	15-30	>30
Humedad relativa (%)	<75	75-85	>85

1.4. Invernadero (Túnel).

Un invernadero es una estructura que delimita un recinto, de cualquier tipo de material, en cuyo interior suelen cultivarse hortalizas y plantas ornamentales en épocas en las cuales el clima y otros factores no son propicios para su cultivo [8]. Por lo tanto, el cultivo bajo cubierta aborda 3 claros factores: obtener producción fuera de época, incrementar la producción y mejorar calidad y eficiencia de esta.

Cabe mencionar que el “Rancho Tajeli” maneja la producción de Stevia mediante el cultivo de esqueje dentro de un invernadero, esto para obtener, como se mencionó anteriormente, los beneficios que el uso de este proporciona, obteniendo así, gran beneficio para la empresa.

1.5. Inteligencia Artificial.

La inteligencia artificial (IA) es una rama de la ciencia de la computación, teniendo conceptos relacionados con aprendizaje y algoritmos lógicos con la capacidad de entrenarse para que, a partir de normas generales, las máquinas puedan tomar sus propias decisiones [9]. Una de las aplicaciones de la IA es la evaluación, la cual se utiliza en este trabajo.

1.6. Lógica Difusa.

Para la optimización de algoritmos, ha sido utilizada la lógica difusa (LD), esta proporciona un método eficiente para mapear variables de entrada y salida [10].

Los SID son utilizados cuando los datos son imprecisos, tomando en cuenta un razonamiento difuso, con la finalidad de generar reglas para obtener respuestas válidas similares a un experto [11]. La base de la LD es utilizar la teoría de conjuntos rugosos, en la cual las funciones de membresía juegan un papel determinante en los elementos del conjunto y estas son características principales en el razonamiento de esta [12]. Este método es ampliamente usado y fácil de implementar, debido a que es posible utilizar un juicio experto sin ser muy conocedor del tema.

Un sistema experto es aquel que está basado en conocimientos y se dedica a tareas específicas, utilizando bases de conocimiento y un motor de inferencia, que es un algoritmo el cual puede llegar a soluciones y conclusiones mediante el uso de reglas y el análisis de los datos contenidos en las bases de conocimiento [13].

Debido a las ventajas anteriormente mencionadas, para este trabajo se decidió utilizar la LD como clasificador de condiciones, utilizando como variables de entrada la temperatura y humedad dentro del invernadero, mientras que,

para la variable de salida, la calidad del ambiente dentro del túnel.

1.6.1 Reglas del SID.

El uso de reglas difusas es una característica de la LD, pueden ser atómicas, y pueden ser unidas a otras reglas o proposiciones mediante conectores lógicos utilizados en la lengua gramatical [13]. El significado de estas es el resultado de la interpretación humana de los conectores lingüísticos.

Las reglas difusas pueden ser expresadas como: si x entonces y [10].

1.6.2 Funciones de membresía del SID.

Las funciones de membresía permiten identificar la pertenencia de un valor de entrada en el conjunto difuso, por lo tanto, es posible desarrollar un pronóstico utilizando teoría difusa [14]. Existen funciones de membresía que pueden ser de tipo gaussiana, triangular, trapezoidal, etc.

1.6.3 Sistema Mamdani.

El sistema Mamdani es efectivo para clasificar, ya que está equipado con la generación de reglas basadas en la optimización de la velocidad y la precisión de los resultados [12]. Este sistema tiene la capacidad de manejar fenómenos no periódicos ni estacionales, manejando así series de tiempo, empleando estrategias para resolver alguna aplicación.

Este sistema mejora el rendimiento de la lógica clásica, ya que requieren menos poder de cómputo y es más eficiente [15], por lo cual el sistema Mamdani es el que se utiliza en este trabajo.

En el SID tipo Mamdani, tanto sus entradas como sus salidas presentan funciones de membresía.

1.6.4 Sistema Takagi-Sugeno.

Estos sistemas son similares a los de parámetro lineal variable, ya que se obtienen mediante una colección de modelos lineales mediante un conjunto de IF (algoritmo difuso) THEN [16].

En el SID tipo Takagi-Sugeno su salida puede ser lineal o constante, lo cual no se representa mediante una función de membresía.

1.7. Trabajos relacionados.

En esta sección se analizan los distintos trabajos que tienen relación con la presente investigación, resaltando así, los campos de mejora de estos.

El objetivo del trabajo propuesto por [17] es crear una red de sensores conectada a internet utilizando una tarjeta LoraWAN, la cual monitorea y envía información sobre la temperatura y la humedad de un ambiente controlado como lo es un invernadero. Si bien en este trabajo utilizan el internet de las cosas (IoT), este únicamente se enfoca en la transmisión de datos, la desventaja que se observó es que no utilizan herramientas inteligentes en el proceso de monitoreo.

Por otra parte, en [18] desarrollan un sistema de monitoreo para un invernadero a pequeña escala utilizando una tarjeta Agilent

34970, la cual mide parámetros como lo son la temperatura, humedad, luminosidad, concentración de monóxido de carbono y la ventilación, siendo este un sistema semi automatizado, realizando así, además del monitoreo, un sistema de control para tomar acciones interpretando los datos recopilados, si bien este trabajo presenta monitoreo, cabe resaltar que no utiliza alguna técnica de IA.

En el trabajo propuesto por [19] se diseñó e implementó una red de sensores, las cuales monitorean variables agroecológicas en ambientes controlados, en este proyecto fueron utilizados diversos sensores tales como el DHT11, DS18B20 y una tarjeta ESP8266. Si bien en este trabajo se realiza el monitoreo de distintas variables para determinar la calidad del invernadero, no fue realizado una evaluación de la calidad mediante una técnica de IA.

Finalmente, como se pudo observar en los trabajos [17, 18 y 19], estos involucraron el monitoreo en invernadero, a diferencia del presente trabajo, todos ellos carecen de alguna técnica de IA con la cual puedan ser procesados los datos, cabe mencionar que ninguno de los trabajos analizados es aplicado a cultivos de esqueje de Stevia, siendo esta una gran área de oportunidad para el desarrollo e implementación de herramientas inteligentes como lo es la LD, logrando con esta una interpretación para la clasificación de la calidad con base en las condiciones ambientales necesarias dentro de un invernadero, de esta forma se podrían evitar pérdidas considerables en la producción.

2. DESARROLLO

Para el desarrollo del modelo del SID fue utilizado el *toolbox* de lógica difusa de Matlab.

A continuación, se muestra el modelado y desarrollo de un SID de tipo Mamdani.

Para la propuesta de este modelo difuso, tomaremos en cuenta lo mencionado en las secciones 1.2 y 1.3 para los parámetros de los rangos óptimos de temperatura y humedad relativa, complementando estos con la experiencia y conocimiento del productor de Stevia Rebaudiana Morita II en el “Rancho Tajeli”.

En la siguiente imagen (Fig. 2) se muestra el modelo difuso con sus variables de entrada y salida.

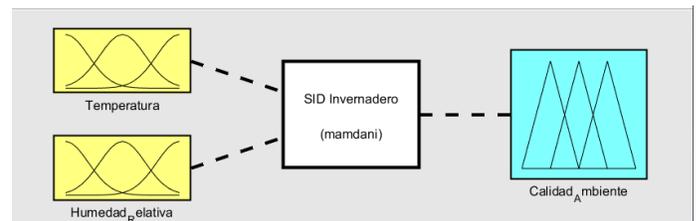


Fig. 2. Modelo difuso.

2.1. Variables de entrada.

Se consideran dos variables de entrada para el SID propuesto, la temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero.

Las variables antes mencionadas serán obtenidas mediante un sensor DHT11.

En la Tabla 2 se puede observar los rangos definidos para las variables de entrada del SID.

Tabla 2. Rangos de variables de entrada del SID.

Variable	Rango
Temperatura (°C)	05-40
Humedad relativa (%)	0-100

2.2. Variable de salida.

La variable de salida de este sistema es la calidad del ambiente dentro del invernadero, la cual presenta un rango de valores de 0 a 10, esta cuenta con etiquetas lingüísticas expresadas de la siguiente manera: *Baja*, *Media* y *Alta*. Siendo 0 la menor calidad y 10 la mayor calidad para el ambiente del túnel.

2.3. Funciones de membresía (FM).

Tal como fue mencionado en la sección 1.6.2 existen diversas FM, el presente SID es desarrollado con triangulares y trapezoidales. A continuación, en la Tabla 3 se muestran los parámetros de las FM. Para la selección de estas, fueron tomadas en cuenta los rangos óptimos de crecimiento del esqueje de *Stevia* y el conocimiento de los expertos del “Rancho Tajeli”, propiciando con ello la selección de funciones triangulares y trapezoidales (Fig. 3, 4 y 5).

Tabla 3. FM del SID.

Tipo / Variable	Rango	Función / Baja	Función / Media	Función / Alta
Entrada / Temperatura (°C)	05-40	Trapezoidal / [05 05 10 16]	Triangular / [15 23 30]	Trapezoidal / [29 35 40 40]
Entrada / Humedad Relativa (%)	0-100	Trapezoidal / [0 0 38 76]	Triangular / [75 80 85]	Trapezoidal / [84 92 100 100]
Salida / Calidad Ambiente	0-10	Trapezoidal / [0 0 3 5]	Triangular / [4 6 8]	Trapezoidal / [7 8 10 10]

En la Fig. 3 se pueden observar las FM para la variable de entrada *Temperatura*, la cual se compone dos de funciones trapezoidales en los extremos y una triangular en el centro.

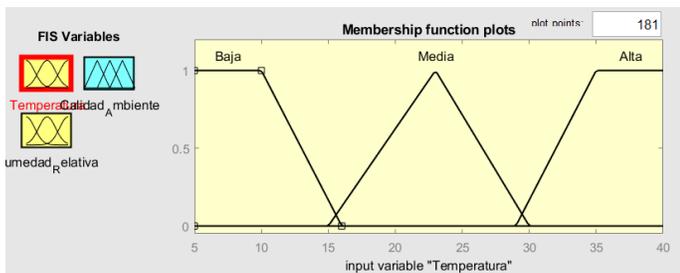


Fig. 3. FM de Temperatura.

En la Fig. 4 se pueden observar las FM para la variable de entrada *Humedad_Relativa*, la cual se compone de dos funciones trapezoidales en los extremos y una triangular en el centro.

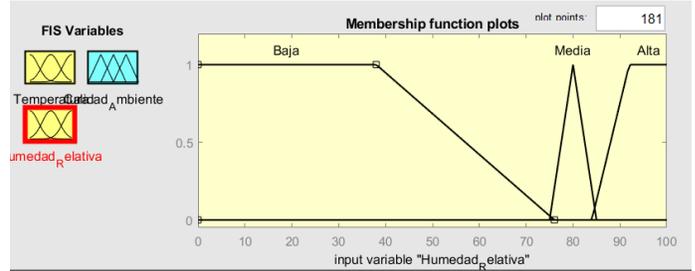


Fig. 4. Funciones de membresía de Humedad_Relativa.

En la Fig. 5 se pueden observar las FM para la variable de salida *Calidad_Ambiente*, la cual se compone de dos funciones trapezoidales en los extremos y una triangular en el centro.

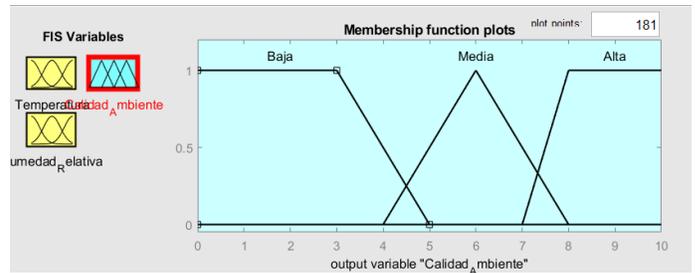


Fig. 5. FM de Calidad_Ambiente.

2.4. Reglas.

En la sección 1.6.1 fueron descritas las reglas de un SID, para este trabajo se involucraron 9 reglas, mismas que se plasman a continuación:

- if (*Temperatura* is *Baja*) and (*Humedad_Relativa* is *Baja*) then (*Calidad_Ambiente* is *Baja*)
- if (*Temperatura* is *Baja*) and (*Humedad_Relativa* is *Media*) then (*Calidad_Ambiente* is *Media*)
- if (*Temperatura* is *Baja*) and (*Humedad_Relativa* is *Alta*) then (*Calidad_Ambiente* is *Media*)
- if (*Temperatura* is *Media*) and (*Humedad_Relativa* is *Baja*) then (*Calidad_Ambiente* is *Baja*)
- if (*Temperatura* is *Media*) and (*Humedad_Relativa* is *Media*) then (*Calidad_Ambiente* is *Alta*)
- if (*Temperatura* is *Media*) and (*Humedad_Relativa* is *Alta*) then (*Calidad_Ambiente* is *Alta*)
- if (*Temperatura* is *Alta*) and (*Humedad_Relativa* is *Baja*) then (*Calidad_Ambiente* is *Baja*)
- if (*Temperatura* is *Alta*) and (*Humedad_Relativa* is *Media*) then (*Calidad_Ambiente* is *Media*)

- if (*Temperatura* is *Alta*) and (*Humedad_Relativa* is *Alta*) then (*Calidad_Ambiente* is *Media*)

Estas reglas fueron obtenidas con base a los parámetros óptimos del crecimiento del esqueje de Stevia y con el conocimiento de los productores del “Rancho Tajeli”.

3. RESULTADOS

El modelo propuesto fue modelado mediante una gráfica en 3D la cual se muestra a continuación.

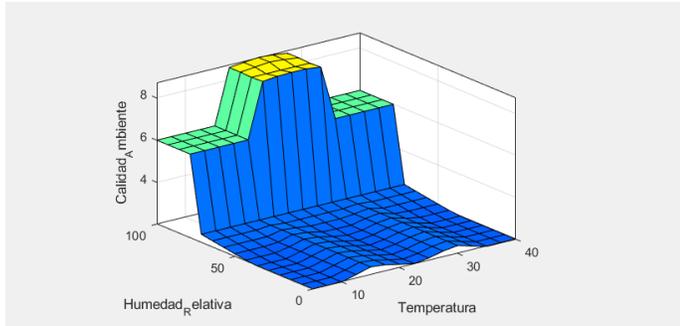


Fig. 6. Gráfica del comportamiento del SID.

Como se puede apreciar en la gráfica (Fig. 6), el comportamiento del sistema demuestra que la variable de salida *Calidad_Ambiente* es *Alta* cuando las variables de entrada tanto *Temperatura* como *Humedad_Relativa* son *Media*, demostrando así, un comportamiento de efectividad ponderada al centro de los rangos establecidos. La grafica demuestra que, para un óptimo desarrollo del esqueje de Stevia, es necesario que la humedad relativa sea por encima del 70% y menor de 90%, siendo esta la variable con la cual se ve más afectado. En figuras siguientes (Fig. 7, 8 y 9) se puede observar un compilado de distintos casos de prueba para el SID, asignando aleatoriamente los valores de entrada.

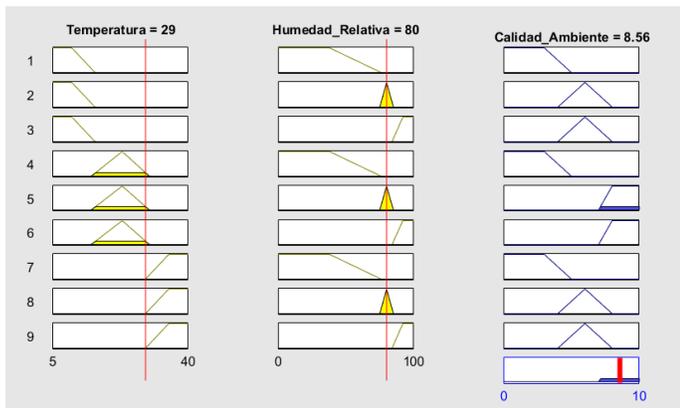


Fig. 7. Casos de prueba *Calidad_Ambiente* Alta.

En la Fig. 7 fue considerada una temperatura de 29°C y la humedad relativa de un 80%, lo que genera en la variable de salida, *Calidad_Ambiente*, un resultado de 8.56 (*Alta*).

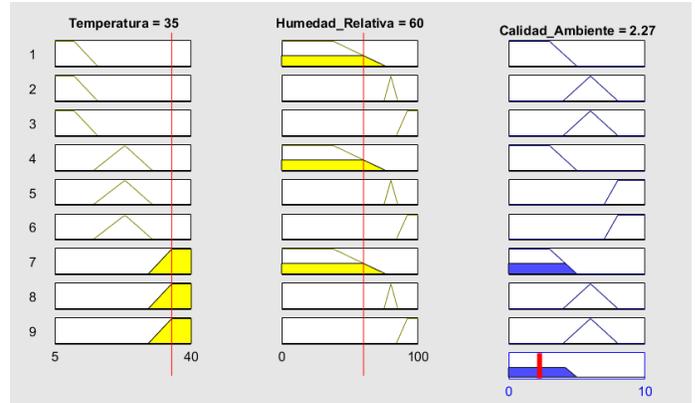


Fig. 8. Casos de prueba *Calidad_Ambiente* Baja.

Por otra parte, en la Fig. 8, cuando la temperatura es de 35°C y la humedad relativa es de un 60%, la variable de salida *Calidad_Ambiente* es de 2.27 (*Baja*), lo cual lo hace indicadores no propicios para su desarrollo.

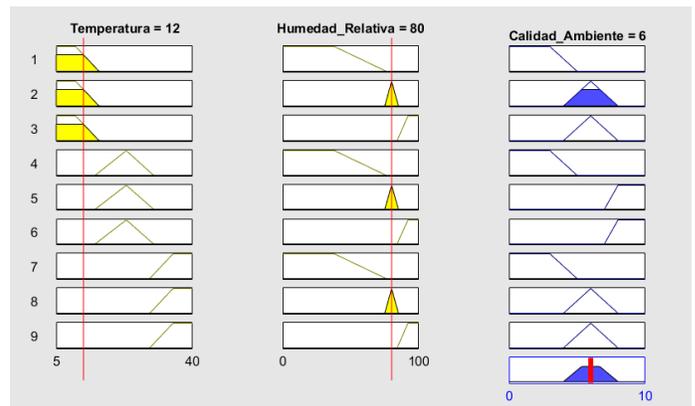


Fig. 9. Casos de prueba *Calidad_Ambiente* Media.

Por último, como se observa en la Fig. 9, cuando la temperatura es de 12°C y la humedad relativa es de un 80%, se obtiene en su variable de salida *Calidad_Ambiente* de 6 (*Media*).

4. TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro se contempla la integración de un prototipo para el monitoreo de la temperatura y humedad usando una tarjeta LoraWAN y un sensor DHT11 dentro de una red interconectada con un nodo central para el envío de información, junto con el SID, pudiendo así, determinar la calidad del ambiente dentro de un invernadero, en el cual se encuentra el esqueje de Stevia, esto mediante la clasificación inteligente cuyas reglas se encuentran basadas en el juicio experto de los productores.

5. CONCLUSION.

La gráfica del modelo 3D y los casos de prueba determinan que las variables de entrada influyen de manera significativa cuando se encuentran en el rango *Media-Alta*, esto debido a que el esqueje de Stevia se beneficia con estos parámetros para su desarrollo óptimo, en cambio, tanto las bajas temperaturas como la baja humedad relativa, afectan a su crecimiento, impidiendo así que pueda cultivarse de manera conveniente. Como se pudo analizar con los resultados obtenidos, en esta investigación, el esqueje de Stevia se ve beneficiado por un ambiente controlado con temperaturas cálidas de entre los 20-30°C y una humedad relativa de 75-85%, siendo más un factor determinante la humedad, debido a que la temperatura en el estado de Colima siempre se mantiene constante dentro esos parámetros la mayor parte del año.

La implementación de tecnología en el invernadero de cultivos, (en este caso "Rancho Tajeli") le permite al productor tener un control y seguimiento en este y, sobre todo, mayor calidad y replicabilidad de condiciones en todo el año para la producción, evitando así pérdidas considerables en tiempo y producto.

6. REFERENCIAS

- [1] D. Vinchira-Villarraga and N. Moreno-Sarmiento, "Control biológico: Camino a la agricultura moderna", Revista Colombiana de Biotecnología, vol. 21, no. 1, pp. 2-5, 2019.
- [2] A. Rodríguez-Sahagún, A. Velasco-Jiménez, O. Castellanos-Hernández, G. Acevedo-Hernández and R. Clarenc Aarland, "Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura", Revista Terra Latinoamericana, vol. 38, no. 2, pp. 333-345, 2020.
- [3] M. Peralta, A. Nilson, V. Grosso, A. Soltermann and R. Miazzo, "Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni): un aditivo natural efectivo en avicultura?", Revista Ciencias Veterinarias, vol. 36, no. 1, p. 7, 2018.
- [4] P. Samuel et al., "Stevia Leaf to Stevia Sweetener: Exploring Its Science, Benefits, and Future Potential", The Journal of Nutrition, vol. 148, no. 7, pp. 1186S-1205S, 2018.
- [5] V. de la Cruz Delgado and J. Flores Galaviz, "Plan de negocio para elevar la competitividad de las PYMES productoras de stevia: caso municipio Valle de Chalco, estado de México", Eumed.net, 2022.
- [6] P. Paredes-Suárez, A. Bautista-Gálvez, M. Ortega-Ramírez, R. Jiménez-Vera, M. Benítez-Mandujano and N. González-Cortés, "Enraizamiento de mini esquejes de Stevia rebaudiana bertoni con ácido idolbutírico en hidroponía", Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 44, no. 3, p. 367, 2021.
- [7] P. Paredes-Suarez, "Rizogénesis en microestacas de stevia rebaudiana morita ii con ácido idolbutírico en condiciones hidropónicas", Tesis, División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Maestría en desarrollo agropecuario

sustentable, Universidad Juárez autónoma de Tabasco, Tenosique, Tabasco, México, 2019.

[8] M. Lenscak and N. Iglesias, "Invernaderos Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54)", Buenos Aires, Argentina, INTA Ediciones, 2019.

[9] J. Avila-Tomás, M. Mayer-Pujadas and V. Quesada-Varela, "La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica", Atención Primaria, vol. 52, no. 10, pp. 778-784, 2020.

[10] R. Ulloa-Cazarez, N. Garcia-Diaz and L. Soriano-Equigua, "Multi-layer Adaptive Fuzzy Inference System for Predicting Student Performance in Online Higher Education", IEEE Latin America Transactions, vol. 19, no. 01, pp. 98-106, 2021.

[11] A. López Sánchez, A. González Lara and C. Guerra Torres, "Desarrollo e implementación de un sistema de inferencia difuso en un juego serio que ayude a fortalecer el razonamiento lógico-matemático", Ingenierías, vol. 24, no. 90, pp. 55-71, 2021.

[12] W. Zulfikar, Jumadi, P. Prasetyo and M. Ramdhani, "Implementation of Mamdani Fuzzy Method in Employee Promotion System", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 288, p. 012147, 2018.

[13] R. Casadesús and I. Castro, "De la lógica difusa a la inteligencia artificial. Hacia un futuro transhumano". Ars Brevis, 24, pp. 47-82, 2019.

[14] J. Medina, J. Castro, A. Cabrera, S. Cruz, "Red neuronal autorregresiva difusa tipo Sugeno con funciones de membresía triangular y trapezoidal: una aplicación al pronóstico de índices del mercado bursátil", Estadística: finanzas y riesgo, vol. 10, no. 1, pp. 77-101, 2020.

[15] G. Selvachandran et al., "A New Design of Mamdani Complex Fuzzy Inference System for Multiattribute Decision Making Problems", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 29, no. 4, pp. 716-730, 2021.

[16] F. López-Estrada, D. Rotondo and G. Valencia-Palomo, "A Review of Convex Approaches for Control, Observation and Safety of Linear Parameter Varying and Takagi-Sugeno Systems", Processes, vol. 7, no. 11, p. 814, 2019.

[17] J. Luna, M. Acosta, G. Guzmán, V. Vargas, F. Rangel and J. Aceves, "Implantación de una Ipwán para monitoreo de temperatura y humedad en un invernadero", Itcelaya.edu.mx, 2022.

[18] J. Pérez, A. Delgado, H. Loya, D. García, A. Torres, "Sistema de monitoreo y control para invernadero usando la unidad de adquisición de datos Agilet 34970a e interfaz en Labview" Pistas Educativas vol. 40, no. 132, pp. 135-175, 2019.

[19] E. Aguirre, D. Barbosa Pira, J. Sanabria Rodríguez, H. Bueno Mesa and D. Vega Castro, "Red de sensores inalámbricos para el monitoreo de variables agroecológicas en cultivos bajo invernadero", Publicaciones e Investigación, vol. 13, no. 1, pp. 53-60, 2019.