

## Modelado de sistema difuso para monitoreo de pH en cultivos de plantas ornamentales

TERRONES-BENICIO, Roberto\*†, FLORES-GALLEGOS, Eduardo, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús y GARCÍA-DIAZ, Noel

*Instituto Tecnológico de Colima, Avenida Tecnológico 1 A.P. 10 y 128, Villa de Álvarez, 28976 Villa de Álvarez, Col*

Recibido 2 Octubre, 2017; Aceptado 04 Diciembre, 2017

### Resumen

El objetivo de esta investigación es el modelado de un sistema de control difuso para realizar mediciones de pH y conductividad eléctrica del sustrato evitando de esta manera la deficiencia de minerales para el correcto crecimiento de las plantas y evitar envenenamiento de las mismas por exceso de minerales. Para el desarrollo de esta investigación se aplicaron técnicas de lógica difusa utilizando la librería jFuzzi, sensores de pH, el protocolo de comunicación ZigBee, la plataforma Arduino y tecnologías Web como interfaz de comunicación para el usuario. Con la inclusión de técnicas de lógica difusa es posible ayudar en el proceso de cultivo de plantas ornamentales, mediante el correcto monitoreo del nivel de acidez o alcalinidad del suelo y así poder disponer de los nutrientes necesarios para el crecimiento apropiado de la planta. El correcto diseño e implementación del sistema difuso permite el aprovechamiento de la tierra e incrementa la producción en los cultivos de plantas, ayudando a mejora de modo significativo la disponibilidad y asimilación de nutrientes y mejorar la estructura del suelo en beneficio de los productores.

**Sistema de control difuso, sensores de pH, ZigBee, cultivo de plantas**

### Abstract

The objective of this research is the modeling of a fuzzy control system to perform measurement of pH and electrical conductivity of soil, thus avoiding the deficiency of minerals for the correct growth of the plants and avoid poisoning of the plant by excess of minerals. For the development of this research, fuzzy logic techniques were applied using the jFuzzi library, pH sensors, the ZigBee communication protocol, the Arduino platform and web technologies as a communication interface for the user. With the inclusion of fuzzy logic techniques, it is possible to assist in the process of cultivating ornamental plants, by means of the correct monitoring of the level of acidity or alkalinity in the soil and thus to have the necessary nutrients for the proper growth of the plant. The correct design and implementation of the fuzzy system allows a better use of land and increases production in plant crops, helping to significantly improve the availability and assimilation of nutrients and improve soil structure for the benefit of producers.

**Fuzzy control system, pH sensors, ZigBee, farming**

**Citación:** TERRONES-BENICIO, Roberto, FLORES-GALLEGOS, Eduardo, VERDUZCO-RAMÍREZ, Jesús y GARCÍA-DIAZ, Noel. Modelado de sistema difuso para monitoreo de pH en cultivos de plantas ornamentales. Revista de Simulación y Laboratorio 2017, 4-13: 8-18

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: G1646005@itcolima.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

El pH (pondus Hydrogeni) es el nivel de acidez o alcalinidad en una solución, este nivel se mide con una escala que va de 0 – 14 donde 0 es el valor máximo de acidez y 14 el valor máximo de alcalinidad. Cuando el suelo tiene un valor de 7 este se considera neutro, en otras palabras, los niveles de acidez y alcalinidad están equilibrados. El pH del medio de cultivo controla las reacciones que determinan la disponibilidad de los nutrientes para su absorción. En su gran mayoría los problemas de las plantas son debido a que el pH estaba fuera del rango aceptable, por lo tanto esto conlleva a una mala absorción de nutrientes (BARBARO, KARLANIAN, & MATA, 2014).

En la mayoría de los suelos de los jardines existe un valor de pH entre el rango de 6 y 7, de tal forma que existe hasta cierto punto un poco de acidez. Existen jardines con niveles que oscilan entre 4 y 10. Dependiendo lo que se desea cultivar puede ser necesario corregir el pH aplicando ciertos complementos minerales. El rango óptimo del sustrato orientado al cultivo ornamental es de 5,5 a 6,8. Sin embargo, existen plantas que requieren de suelos con valores menores a 5,5. La tabla 1 muestra los rangos de pH para distintos cultivos ornamentales.

El control de los niveles de acidez o alcalinidad en el sustrato de las plantas tiene una gran influencia en la descomposición de las sustancias orgánicas, así como en la microvida del sustrato, ya que esto permite que la planta absorba los nutrientes necesarios para su correcto crecimiento. Otra forma en la que repercute es en el modo en que los componentes nutritivos, metales pesados y pesticidas son eliminados por el suelo.

En los cultivos un valor entre 5.0 y 6.4 son idóneos para la raíz de la planta, valores menores de 4 dañan la raíz por envenenamiento al absorber fácilmente metales pesados (magnesio y hierro), en los valores mayores a 8, las plantas sufren de deficiencia de nutrientes (clorosis y deficiencia de crecimiento a largo plazo) debido a que no son absorbidos con abundancia.

Rangos de pH para diferentes especies ornamentales	
<5,5	Azalea, Dionaea.
5,2-6,4	Viola, Petunia, Salvia, Conejito, Vinca, Ciclamen, Orquídea, Hortensia.
6-6,8	Violeta Africana, Sanata Teresita, Rosa china, Kalanchoe, Aster, Begonia, Caladium, Clerodendron, Gloxinia
	Echinacea Prímula, Crisantemo, Hortensia, Impatiens, Santa Rita, Poinsettia, Gerbera, Streptocarpus.
	Lisianthus, Calendula, Campánula, Crocus, Dianthus, Freesia, Jacinto, Narciso.
	Celosia, Geranium, Copete, Marimonia, Calceolaria, Dracaena, Liliium.

**Tabla 1** Rango de pH para algunas especies ornamentales

*Fuente:* (BARBARO, KARLANIAN, & MATA, 2014)

## Conductividad eléctrica (CE)

La CE es el nivel de salinidad que contiene una solución en el sustrato. Debido al nivel de sales en el sustrato la CE mide la capacidad de conducción de corriente eléctrica, mientras más grande sea el nivel de CE, mayor será la concentración de sales y a menor nivel de CE, menor será la concentración de sales.

Es recomendable mantener los niveles de CE bajos, esto con la finalidad de facilitar el manejo de fertilizantes y evitar problemas por fitotoxicidad en el sustrato (BARBARO, KARLANIAN, & MATA, 2014).

Valores como el pH y la CE son valores que no son lineales, son valores que cambian con cada medición, para poder procesar estos valores es necesario un modelo que permita el uso de valores no lineales. La lógica clásica no permite estos valores por lo cual se descarta de inmediato para este propósito. Tomando como base lo anterior se presenta un modelo basado en lógica difusa, a diferencia de la lógica clásica permite el uso de valores no lineales, valores que no están dentro del rango de 1 y 0.

### Lógica difusa

El ser humano tiene la facilidad de comunicarse con otros de manera entendible por medio de reglas lingüísticas. Por ejemplo, los pasos para medir el pH del sustrato.

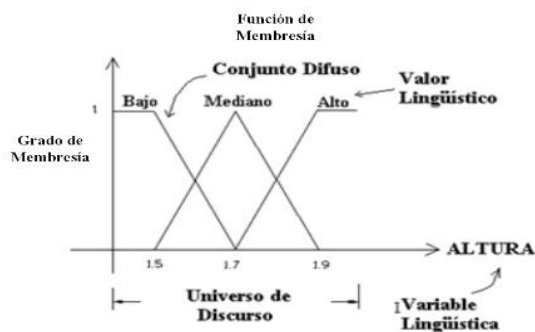
- irrigar el sustrato
- dejar drenar el sustrato por 30 a 60 minutos.
- colocar un platillo de recolección debajo de la maceta.
- aplicar agua destilada.
- medir el pH y el CE del sustrato.

Estas indicaciones son fácilmente seguidas por el ser humano, sin embargo, estos valores lingüísticos son difícilmente entendidos por las computadoras, para que estos valores sean entendibles por las maquinas es necesario traducirlos a un lenguaje de 1 y 0. En este proyecto se consideran valores lingüísticos ambiguos como “acido”, “base” y “alcalino”. Para poder manejar estos valores es necesario el uso de un modelo que permita valores lingüísticos ambiguos, para que esto sea posible se hizo uso de la lógica difusa. La lógica difusa se utiliza para convertir las reglas de control heurísticas establecidas por un operador humano en una estrategia de control automático (Mamdani & S. , 1975).

La lógica difusa es una rama de la IA que le permite a una computadora analizar información del mundo real en una escala entre lo falso y verdadero (Ponce Cruz , 2010). La lógica clásica se basa en el estudio de las variables de dos valores, estos valores son 0 y 1, no permite valores intermedios. Pero existen variables que no son ni verdaderas ni falsas si no valores ambiguos o imprecisos, por ejemplo, la edad de una persona, la velocidad de un automóvil, la temperatura, el calor o el frio, todos estos valores resultan ambiguos porque dependen de cómo son percibidas por la persona, estos valores son llamados conjuntos difusos.

### Conjuntos difusos

El mundo que nos rodea clasifica las cosas de manera no precisa, no tiene definidas precisamente funciones de pertenencia. Los objetos no están clasificados de manera precisa, más bien, están clasificados por grupos que pueden ser por ejemplo personas, esta clasificación incluye tanto a hombres como mujeres. Valores como “mujer hermosa”, “hombre alto”, etc. Estos valores son imprecisos, valores que no pueden ser clasificados de manera exacta. Estos valores imprecisos son definidos como conjuntos difusos. (Lotfi A, 1965) define los conjuntos difusos como conjuntos que se caracterizan por una función de pertenencia que asigna a cada objeto un grado de pertenencia que se encuentra entre cero y uno. Como se muestra en la figura 1.



**Figura 1** Representación de una función de membresía en una gráfica

De manera más sencilla los conjuntos difusos son la traducción de los métodos y principios del razonamiento humano (Chen & Pham Tat, 2001).

### Función de membresía

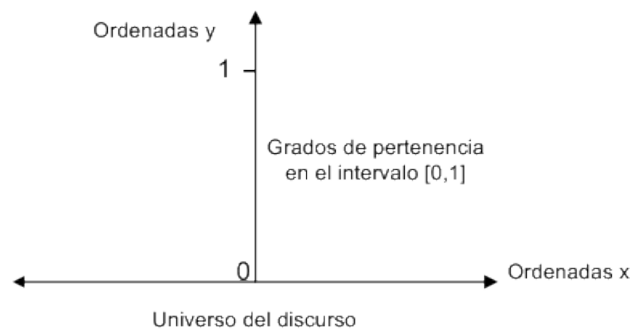
(The MathWorks, Inc., 2017) define una función de membresía como una curva que define cómo cada punto en el espacio de entrada se asigna a un valor de pertenencia entre 0 y 1. El espacio de entrada se refiere a veces como el universo del discurso, un nombre de fantasía para un concepto simple. jFuzzyLogic en su función triangular utiliza la fórmula 1 (Cingolani & Alcalá-Fdez., 2013).

$$f(x|m_{in}, m_{id}, m_{ax}) = \begin{cases} 0 & x < m_{in} \\ \frac{x-m_{id}}{m_{in}-m_{id}} & m_{in} \leq x \leq m_{id} \\ \frac{x-m_{id}}{m_{ax}-m_{id}} & m_{id} < x \leq m_{ax} \\ 0 & x > m_{ax} \end{cases} \quad (1)$$

### Grado de membresía

El principal uso que se le da a la lógica difusa es la transformación de valores difusos a valores numéricos.

Por esto se toman las variables de entrada y se determina el grado al que pertenece cada uno de los conjuntos difusos, dándoles un valor numérico comprendido entre 0 y 1. Como se muestra en la figura 2.



**Figura 2** Representación del grado de membresía en una gráfica

### Metodología

El sistema difuso hace uso del error de pH y error de conductividad eléctrica, para poder realizar el cálculo de error de pH es necesario tomar los valores del sustrato. Si se desea conocer la cantidad de iones de hidrogeno presentes en una solución se utiliza la fórmula 2, dicha fórmula está definida por el logaritmo decimal de la actividad de iones de hidrógeno (Karastogianni, Girousi , & Sotiris , 2016).

$$pH = -\log_{10} \alpha_{H^+} = \log_{10} \left( \frac{1}{\alpha_{H^+}} \right) \quad (2)$$

Una vez calculado el nivel de pH se hace el cálculo de error mediante la formula 3, se utiliza el pH de referencia y el pH actual obtenido en ese periodo de tiempo (R. Ben Ali, 2016).

$$e_{pH} = pH_{ref} - pH_{actual} \quad (3)$$

Donde:

$$e_{pH} = \text{Error de pH.}$$

$pH_{ref}$  = pH referencia.

$pH_{actual}$  = Muestra de pH obtenida.

Para poder obtener los valores de la concentración de conductividad eléctrica de la solución, se colocan dos electrodos opuestos entre sí, se aplica una tensión alterna a los electrodos que hace que los cationes se muevan al electrodo cargado negativamente, mientras que los aniones se desplazan al electrodo positivo. Cuanto más electrolito libre contiene el líquido, mayor es la conductividad eléctrica (Atlas Scientific LLC, 2017). Para llevar a cabo dicho cálculo se sigue la ecuación de Nernst que se escribe como, ver fórmula 4:

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln(\alpha_{H^+}) = E^0 - \frac{2.303RT}{F} pH \quad (4)$$

Donde:

$E$  = potencial medido.

$E^0$  = potencial de electrodo formal.

$R$  = constante del gas.

$T$  = temperatura en kelvin.

$F$  = constante de Faraday.

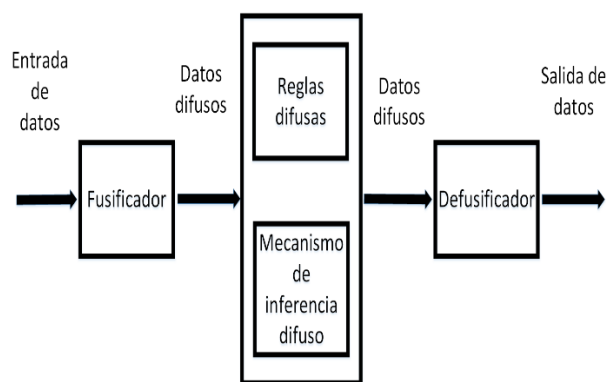
### Controlador difuso de Mamdani

Este modelo fue propuesto en 1975 por Ebrahim Mamdani, es el más utilizado en la mayoría de los controladores difusos por su sencillo método de evaluación basado en conjunto de reglas donde las variables de entrada y salida se representan por valores difusos.

(Mamdani & S. , 1975) define su controlador como un subconjunto difuso  $A$  de un universo de discusión  $U$  se caracteriza por una función de pertenencia  $\mu: U \rightarrow (0,1)$ , que asocian con cada elemento del  $u$  de  $U$  un numero  $\mu(u)$  en el intervalo de  $(0,1)$  que representa el grado de membrecía de  $u$  en  $A$  (Mamdani & S. , 1975). Este es denotado como, ver fórmula 5:

$$A = \sum_{i=1}^n \mu(u|i) / u_i = \sum_i \mu(u_i) \quad (5)$$

La figura 3 muestra el funcionamiento básico del sistema propuesto por Mamdani, basado en un sistema de fusificación, un sistema de inferencia lógico, reglas difusas y un sistema de defusificación.



**Figura 3** Estructura general de un sistema difuso Mamdani

**Fusificador:** es la parte del sistema que se encarga de traducir los valores de tipo numéricos a valores lingüísticos, de esta manera serán entendibles por el mecanismo de inferencia. Esta interfaz funciona con la gramática 6:

$$A' = F(x_0) \quad (6)$$

Donde:

$x_0$ : es un valor nítido definido dentro del universo.

$F$ : es un operador fuzificador.

Este sistema trabaja por medio del sistema de inferencia Modus Ponens (Cingolani & Alcalá-Fdez., 2013). El modus Ponens permite pasar de dos premisas a la conclusión, siempre que la premisa sea cierta la conclusión será cierta (Suppes & Hill). En la *expresión 1* se muestra un ejemplo:

Premisa 1.  $P \rightarrow Q$   
 Premisa 2.  $P$   
 -----  
 Conclusión  $Q$

**Expresión 1** Modus Ponens basado en dos premisas.

**Mecanismo de inferencia:** este mecanismo se encarga de tomar las variables obtenidas por el mecanismo de fusificación, una vez tomados los valores asigna los grados de pertenencia. Seguido, utilizando las reglas difusas almacenadas en la base de reglas realiza el proceso de búsqueda de la regla más adecuada para obtener un resultado de salida.

**Base de reglas:** contiene todas las reglas lingüísticas del control difuso e información referente a las funciones de pertenencia. Está creada a base del juicio experto, el experto aporta el conocimiento transformándolos en reglas.

### Construcción del modelo difuso

jFuzzyLogic (Cingolani & Alcalá-Fdez., 2013) permite realizar el diseño del modelo, así como definir las variables de entradas y salidas a través de un archivo de texto. En la declaración de variables solo es admitido el tipo Real, que es el único necesario para esta aplicación.

Para que jFuzzyLogic pueda reconocer el contenido del archivo de texto es necesario seguir un formato establecido. Para la asignación de las variables de entrada y salida se define como se muestra en la función 1.

```
//Segmento de asignación de entradas
VAR_INPUT
Error_pH : REAL;
END_VAR
//Segmento de asignación de salidas
VAR_OUTPUT
Control_pH : REAL;
END_VAR
```

**Función 1** asignación de variables de entrada y salida.

La interfaz de fusificación contiene las funciones de pertenencia, así como los rangos de variación. En la función 2 y 3 se muestra un ejemplo de la definición de dichas funciones.

```
FUZZIFY Error_pH
TERM M_Ac := (-7, 1) (-4, 1) (-2.5, 0) ;
TERM Mod_Ac := (-4, 0) (-2.5, 1) (-1, 0) ;
TERM L_Ac := (-2.5, 0) (-1,1) (0,0);
TERM Mínimo := (-1,0) (0, 1) (1, 0);
TERM L_AI := (0,0) (1, 1) (2.5, 0);
TERM Mod_AI := (1,0) (2.5, 1) (4, 0);
TERM M_AI := (2.5,0) (4, 1) (7, 1);
END_FUZZIFY
```

**Función 2** Funciones de membresía de la variable de entrada Error\_pH.

```
FUZZIFY Error_CE
TERM MB := (-4.5, 1) (-3, 1) (-1.5, 0) ;
TERM B := (-3, 0) (-1.5, 1) (0, 0) ;
TERM Mínimo := (-0.75, 0) (0, 1) (0.75, 0) ;
TERM A := (0, 0) (1.5,1) (3,0);
TERM MA := (1.5,0) (3, 1) (4.5, 0);
TERM ExtA := (3,0) (4.5, 1) (6, 1);
END_FUZZIFY
```

***Función 3*** Funciones de membresía de la variable de entrada *Error\_CE*.

La interfaz de defusificación tiene el mismo formato al de fusificación, sin embargo, se agrega el método de defusificación. En la función 4 y 5 se muestran ejemplos de cómo definir las.

```

DEFUZZIFY Control_pH
  TERM Ac_A := (-100,1) (-60,0);
  TERM Ac_Mod := (-100,0)(-60,1) (-30,0);
  TERM Ac_L := (-60,0)(-30,1) (0,0);
  TERM M := (-30,0) (0,1) (30,0);
  TERM Bas_L := (0,0) (30,1) (60,0) ;
  TERM Bas_Mod := (30,0) (60,1) (100,0);
  TERM Bas_A := (60,0) (100,1);
  METHOD : COG; // Use 'Center Of
Gravity' defuzzification method
  DEFAULT := 0; // Default value is 0 (if no
rule activates defuzzifier)
END_DEFUZZIFY

```

***Función 4*** Funciones de membresía de la variable de salida *Control\_pH*.

```

DEFUZZIFY Control_CE
  TERM BC := (-100,1) (-60,0) ;
  TERM BG := (-100, 0)(-60,1) (-30,0) ;
  TERM BP := (-60,0) (-30, 1) (0,0);
  TERM M := (-30,0) (0,1) (50, 0) ;
  TERM SP := (0,0) (50,1) (100,0);
  TERM SG := (50,0) (100,1) ;
  METHOD : COG; // Use 'Center Of
Gravity' defuzzification method
  DEFAULT := 0; // Default value is 0 (if no
rule activates defuzzifier)
END_DEFUZZIFY

```

***Función 5*** Funciones de membresía de la variable de salida *Error\_CE*.

## Resultados

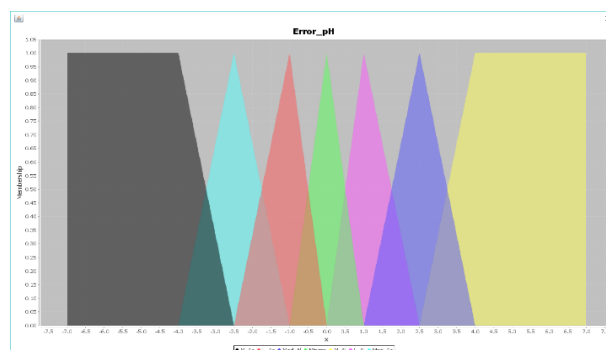
Con la finalidad de mantener el pH y conductividad eléctrica en condiciones óptimas para el desarrollo correcto de las plantas. Se obtuvo como resultado el modelo de un sistema difuso para el constante monitoreo de los parámetros de pH. Se diseñó un sistema difuso que cuenta con dos entradas, el *Error\_pH* y *Error\_CE*, como salidas de datos se obtuvieron el control de pH y CE. Las tablas 2 y 3 muestran estos parámetros. Con los datos del juicio experto se obtuvieron las reglas de inferencia que sirvieron para obtener los resultados después del proceso de defusificación.

## Variables de entrada

Las variables de entrada son:

- *Error\_pH*
- *Error\_CE*

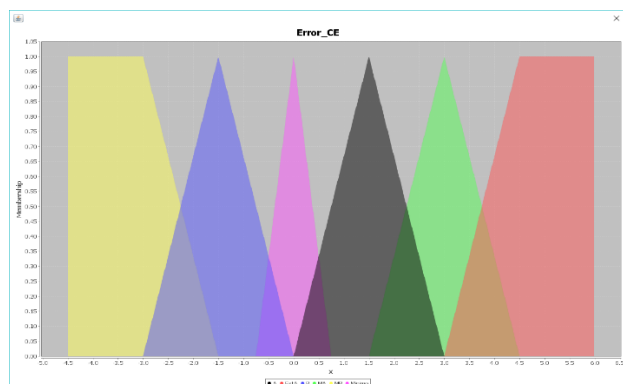
Como resultado se obtuvieron las variables de entrada del controlador difuso, estas variables fueron *Error\_pH* y *Error\_CE* como se muestra en las figuras 4 y 5.



**Figura 4** Función triangular del error de pH

Error de pH		
FM	Abrev.	Parámetros
Muy Ácido	M-Ac	[-7 -4 -2.5]
Moderadamente Ácido	Mod-Ac	[-4 -2.5 -1]
Ligeramente Ácido	L-Ac	[-2.5 -1 0]
Mínimo	Min	[-0.5 0 0.5]
Ligeramente Alcalino	L-Al	[0 1 2.5]
Moderadamente Alcalino	Mod-Al	[1 2.5 4]
Muy Alcalino	M-Al	[2.5 4 7]

**Tabla 2** Valores de entrada para el control de pH



**Figura 5** Función triangular del error de conductividad eléctrica

Error de Conductividad		
FM	Abrev	Parámetros
Muy baja	MB	[-4.5 -3 -1.5]
Baja	N	[-3 -1.5 0]
Mínima	Min	[-0.75 -1 0.75]
Alta	A	[0 1.5 3]
Muy Alta	MA	[1.5 3 4.5]
Extremadamente Alta	EA	[3 4.5 6]

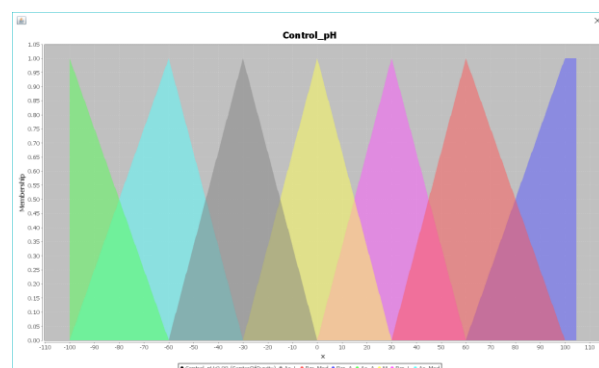
**Tabla 3** Definición de entrada Conductividad en una solución

## VARIABLES DE SALIDA

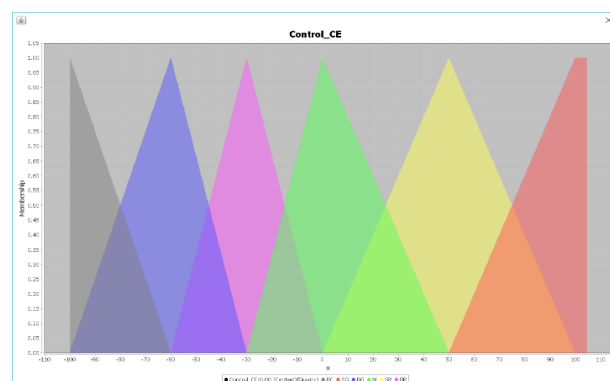
Las variables de salida del sistema fueron:

- Control\_pH
- Control\_CE

Estas salidas son las que se encargan de definir la corrección que se debe hacer tanto para el pH como para la CE, ver figuras 6 y 7. Dependiendo del valor que arroje la salida. La basificación o alcalinización será alta, media o baja, ver tabla 4, en el caso de la estabilización del valor de la CE. Ver tabla 5.



**Figura 6** Controlador lógico difuso del error de pH



**Figura 7** Controlador lógico difuso del error de conductividad eléctrica



Control de pH		
FM	Abrev	Parámetros
Basificación Alta	Bas-A	[100 60]
Basificación Moderada	Bas-Mod	[100 60 30]
Basificación Ligera	Bas-L	[60 30 0]
Mantener	M	[30 0 30]
Acidificación Ligera	Ac-L	[0 -30 -60]
Acidificación Moderada	Ac-Mod	[-30 -60 -100]
Acidificación Alta	Ac-A	[-60 -100]

**Tabla 4** Definición de salida del error de pH

Control de CE		
FM	Abrev	Parámetros
Baja Critica	BC	[-100 -60]
Baja Grande	BG	[-100 -60 -30]
Baja Pequeña	BP	[-60 -30 0]
Mantener	M	[-35 0 50]
Subida Pequeña	SP	[0 50 100]
Subida Moderada	SM	[50 100]

**Tabla 5** Definición de salida Conductividad eléctrica de una solución

### Reglas difusas

El sistema difuso trabaja con el modelo de inferencia de Mamdani, por lo tanto, trabaja con reglas de inferencia para poder realizar el proceso de defusificación. Estas reglas son definidas con ayuda del experto. El experto aporta el conocimiento adquirido con los años y los transforma en reglas. La tabla 6 muestra la matriz de reglas.

Error de pH							
M-Ac	Mod-Ac	L-Ac	M	L-AI	Mod-AI	M-AI	
Cal-A	Cal-Mod	Cal-L	M	Ac-L	Ac-Mod	Ac-A	Control pH

**Tabla 6** Matriz de reglas Error de pH

### Control Error de pH

Con la ecuación 3 se realizó el cálculo de error de pH, el resultado es introducido al control difuso y se compara con los valores dentro del sistema, permitiendo saber si es necesario tomar alguna acción para normalizar el pH. Ver función 6.

#### RULEBLOCK No1

```

RULE 1 : IF Error_pH IS M_Ac THEN
Control_pH IS Bas_A;
RULE 2 : IF Error_pH IS Mod_Ac THEN
Control_pH IS Bas_Mod;
RULE 3 : IF Error_pH IS L_Ac THEN
Control_pH IS Bas_L;
RULE 4 : IF Error_pH IS Minimo THEN
Control_pH IS M;
RULE 5 : IF Error_pH IS L_AI THEN
Control_pH IS Ac_L;
RULE 6 : IF Error_pH IS Mod_AI THEN
Control_pH IS Ac_Mod;
RULE 7 : IF Error_pH IS M_AI THEN
Control_pH IS Ac_A;
END_RULEBLOCK

```

*Función 6* Bloque de reglas de inferencia para error\_pH.

### Control Error\_CE

Para el control de la CE se hizo uso de la ecuación 4, con el resultado obtenido se introdujo dentro del controlador difuso, esto permite saber si la conductividad es la correcta, con esto podremos medir la fertilización de la planta. Ver función 7.

```

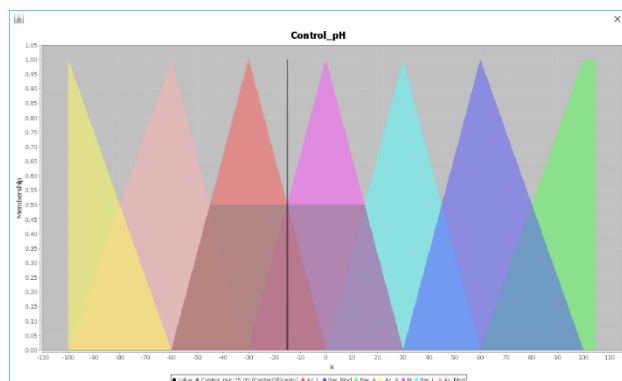
RULEBLOCK No1
  AND : MIN;
  ACT : MIN;
  ACCU : MAX;
  RULE 1 : IF Error_CE IS MB THEN
Control_CE IS SG;
  RULE 2 : IF Error_CE IS B THEN
Control_CE IS SP;
  RULE 3 : IF Error_CE IS Minimo THEN
Control_CE IS M;
  RULE 4 : IF Error_CE IS A THEN
Control_CE IS BP;
  RULE 5 : IF Error_CE IS MA THEN
Control_CE IS BG;
  RULE 6 : IF Error_CE IS ExtA THEN
Control_CE IS BC;
END_RULEBLOCK

```

**Función 7** Bloque de reglas de inferencia para error\_ CE

### Simulación del modelo

La figura 8 toma como ejemplo un plantío de azaleas para obtener el error de pH que puede tener, el error obtenido fue de 0.5. Este valor tiene una diferencia mínima con respecto a su valor óptimo, por lo tanto, necesita la aplicación de ácido mínima para normalizarlo y evitar que enferme la planta.



**Figura 8** Nivelación de los valores de alcalinidad o acidez de un plantío de azaleas

### Conclusiones

Este documento muestra la primera fase en la implementación de un modelo de control difuso para determinar el pH y la conductividad eléctrica (CE) en los cultivos de plantas ornamentales. Este modelo nos permite conocer las diferencias de CE y pH del valor recomendado para un cultivo específico con el que posee un terreno de cultivo.

El uso del sistema de control difuso obtenido permitirá a los productores de plantas ornamentales tomar mejores decisiones, por ejemplo, si se debe aplicar cierto compuesto para adecuar las características químicas del terreno con el fin de obtener una producción de mayor calidad y garantizar la rentabilidad del cultivo.

Los resultados obtenidos son una fuerte motivación para la continuación de este proyecto.

### Referencias

Atlas Scientific LLC. (2017). *Conductivity Probe K 10*. Obtenido de AtlasScientific Environment Robotics: [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/EC\\_K\\_10\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/EC_K_10_probe.pdf)

BARBARO, L., KARLANIAN, M., & MATA, D. (2014). *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas*. Argentina: Ediciones INTA.

C., T., E., F., A., M., & M., A. (2016). Smart greenhouse fuzzy logic based control system enhanced with wireless data monitoring. *ISA Transactions*, 297-307.

Castaño M., G. V. (2009). Lógica difusa en ingeniería: principios, aplicaciones y futuro. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 88-101.

Chen, G., & Pham Tat, T. (2001). Fuzzy logic theory. En G. Chen, & T. Pham Tat, *Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems* (págs. 57-62). Nueva York: CRC Press LLC.

Cingolani, P., & Alcalá-Fdez., J. (2013). jFuzzyLogic: a Java Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 61-73. Obtenido de jFuzzyLogic.

Echaieb, K. (2015). Fuzzy decoupling control of greenhouse climate. *Arabian journal for science and enineering*, 1-7.

Guzmán, V. (2006). La lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro. *Ciencia y Tecnología*, 87-106.

Jantzen, J. (2017). Fuzzy set operations. En J. Jantzen, *Foundations of fuzzy control* (págs. 19-22). Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd.

Karastogianni, S., Girousi, S., & Sotiris, S. (2016). pH: Principles and Measurement. *Encyclopedia of Food and Health*, 333–338.

Kouro R, S., & Masalem M., R. (2002). *Control mediante lógica difusa*. Obtenido de Departamento de electrónica: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo377/documentos/Fuzzy.pdf>

Lotfi A, Z. (1965). Fuzzy Sets. *Information and control*, 338-353.

Mamdani, E., & S., A. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1-13.

Ponce Cruz, P. (2010). Lógica difusa. En P. Ponce Cruz, *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería* (pág. 3). México: Alfaomega.

R. Ben Ali, E. A. (2016). Fuzzy logic controller of temperature and humidity inside an agricultural greenhouse. *7th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 1-6.

Suppes, P., & Hill, S. (s.f.). *Primer curso de lógica mateática*. Colombia: REVERTÉ COLOMBIANA, S. A.

The MathWorks, Inc. (marzo de 2017). *Fuzzy Logic Toolbox*. Obtenido de mathworks: [https://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy.pdf](https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf)