

Control difuso de una cámara de germinación

Marcelo Marinelli¹, Nelson Acosta², Juan Toloza³, Carlos Kornuta^{2,4}

¹ Instituto de Biotecnología de Misiones - Universidad Nacional de Misiones

² Facultad Cs. Exactas - Universidad Nacional Centro de la Prov. Buenos Aires

³ Universidad Nacional de Tres de Febrero

⁴ Becario doctoral CONICET

marcelomarinelli@gmail.com, ncosta@exa.unicen.edu.ar, jmtoloza@untref.edu.ar

Resumen. Se presenta el diseño de un sistema de control difuso para una cámara de germinación de cultivos hidropónicos. El sistema toma mediciones de humedad y temperatura dentro de la cámara y por intermedio de un controlador difuso tipo Sugeno, embebido en una placa Arduino, genera señales de control a un sistema de ventilación forzada y al sistema de control de iluminación artificial. Se realizaron experiencias con una cámara de germinación con este control difuso. Se sembraron semillas de lechuga en la cámara con control difuso y en una bandeja de cultivo convencional obteniéndose resultados de crecimiento superiores en la primera.

Palabras clave: lógica difusa, sistemas embebidos, Sugeno, Cámara de germinación.

1 Introducción

La Teoría de los conjuntos borrosos iniciada por Zadeh¹ [1] a diferencia de la lógica matemática permite utilizar términos lingüísticos de fácil interpretación. Una rama de la lógica difusa se ocupa del estudio de sistemas de control [2]. Los controladores difusos tienen la ventaja de poseer mayor interpretabilidad para poder ser diseñados en función de un experto en una temática determinada. A tal efecto, se pueden utilizar etiquetas lingüísticas para las variables intervinientes como: “muy bajo”, “bajo”, “alto”, “muy alto”. Por otra parte, los conjuntos difusos que definen las variables, tienen valores de pertenencia flexibles. Estas características hacen que los sistemas de controles difusos puedan tener una mejor respuesta que los sistemas reactivos convencionales. Por otra parte, facilita generar un sistema de control basado en la experiencia de un experto, en lugar de basarse en un modelo matemático

En las cámaras de germinación hidropónicas una variable importante, en la germinación de las semillas y el desarrollo de los cultivos, es la ventilación, no sólo por el aporte de CO₂ sino también por el control de temperatura [3], [4]. Con el sistema propuesto el controlador difuso tipo Sugeno toma valores de temperatura y humedad dentro de la cámara de germinación y genera las señales de control para el

sistema de ventilación forzada y el aporte de temperatura provisto por una lámpara incandescente.

2 Sistema de adquisición de datos

Las variables de humedad y temperatura se adquirieron con sensores DHT22 que permiten tomar muestras de estas por una conexión serial.

Para el procedimiento de adquisición de los datos, se desarrolló un software de controlador difuso tipo Sugeno embebido y control de las señales de salida se utilizó una placa Arduino Mega 2560 con un procesador Atmel modelo Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales, una conexión USB, un conector de alimentación, y un botón de reinicio.

El Atmega2560 tiene 256 KB de memoria flash, para el almacenamiento de código. Para el gestor de arranque (bootloader) se utilizan 8 Kb, también consta 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM, esta se puede leer y escribir con la librería EEPROM.

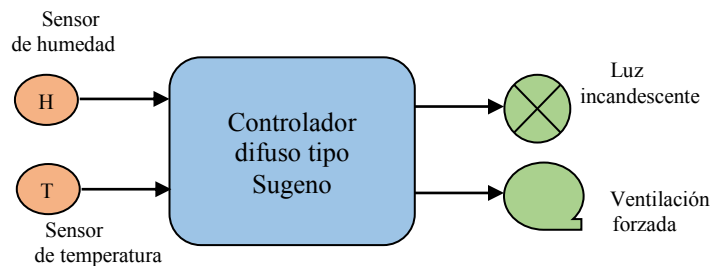


Fig. 1. Diagrama en bloques del sistema de control difuso

Para evitar contacto galvánico entre el sistema digital de la placa Arduino y las etapas de potencia se utilizaron optoacopladores que controlan los sistemas de iluminación artificial y ventilación forzada. En la Figura 1 se puede apreciar un diagrama en bloques del controlador difuso.

2.1 Diseño del controlador difuso

Dado que el controlador difuso reside embebido en la memoria de la placa Arduino, se optó por un sistema de control tipo Sugeno ya que el cálculo de la inferencia difusa se puede diseñar en menos líneas de código que los controladores tipo Mamdani debido a que no poseen etapa de defusificación.

Para el diseño de las particiones difusas se trabajó con datos provistos por expertos en Biología Vegetal del Instituto de Biotecnología de Misiones "María Ebe Reca" (InBioMis), dependiente de la Universidad Nacional de Misiones.

Se definieron los conjuntos difusos de entrada (Figuras 2 y 3) y salida así como el universo de discurso de cada variable (U_{T° , U_H , U_V , U_{LC}) y las etiquetas lingüísticas (Tablas 1 y 2).

2.2 Variable de entrada

2.2.1 Temperatura

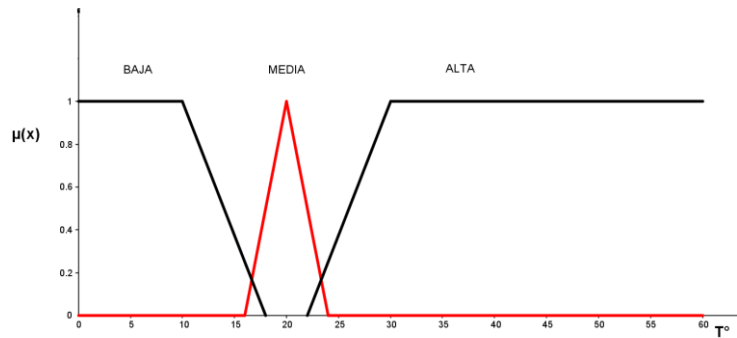


Fig. 2. Conjuntos difusos de la variable de entrada temperatura

Tabla 1. Coordenadas de los conjuntos difusos de la variable de entrada temperatura

Etiqueta	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
U_{T°	[0, 60]
BAJA	[0, 0, 12, 18]
MEDIA	[16, 20, 24]
ALTA	[22, 30, 60, 60]

2.2.2 Humedad

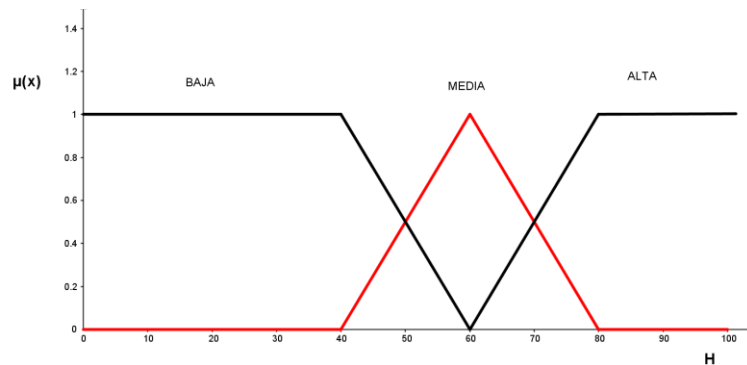


Fig. 3. Conjuntos difusos de la variable de entrada humedad

Tabla 2. Conjuntos difusos de la variable de entrada humedad

Etiqueta	Humedad relativa (%)
U_H	[0, 100]
BAJA	[0, 0, 40, 60]
MEDIA	[40, 60, 80]
ALTA	[60, 80, 100, 100]

2.3 Variable de salida:

2.3.1 Ventilación forzada

La variable de salida correspondiente al control de la ventilación forzada se expresa en porcentaje de potencia (Tabla 3).

Tabla 3. Conjuntos difusos de la variable de salida ventilación

Etiqueta	Potencia %
U_V	[0, 100]
APAGADO	[0]
MEDIA	[50]
ALTA	[100]

2.3.2 Iluminación incandescente

La variable de salida correspondiente al control de iluminación es binaria (Tabla 4).

Tabla 4. Conjuntos difusos de la variable de salida iluminación

Etiqueta	Estado
U_V	[0, 1]
APAGADO	[0]
ENCENDIDO	[1]

2.4 Reglas difusas

La base de reglas difusas, se diseñó en función a lo indicado por un experto en Biología Vegetal que aportó cuales son las relaciones óptimas de las variables intervinientes en el proceso de germinación y crecimiento de cultivos hidropónicos

1. If (temperatura is baja) and (humedad is baja) then (ventilador is apagado) (luz_caliente is encendido)

2. If (temperatura is baja) and (humedad is media) then (ventilador is apagado) (luzcaliente is encendido)
3. If (temperatura is baja) and (humedad is alta) then (ventilador is 50%) (luz_caliente is encendido)
4. If (temperatura is baja) and (humedad is alta) then (ventilador is 100%) (luz_caliente is encendido)
5. If (temperatura is media) and (humedad is baja) then (ventilador is apagado) (luz_caliente is apagado)
6. If (temperatura is media) and (humedad is media) then (ventilador is 50%) (luz_caliente is apagado)
7. If (temperatura is media) and (humedad is alta) then (ventilador is 100%) (luz_caliente is apagado)
8. If (temperatura is alta) and (humedad is baja) then (ventilador is 100) (luz_caliente is apagado)
9. If (temperatura is alta) and (humedad is media) then (ventilador is 100%) (luz_caliente is apagado)
10. If (temperatura is alta) and (humedad is alta) then (ventilador is 100%) (luz_caliente is apagado)

3 Diseño del software del controlador difuso tipo Sugeno

A efectos de definir las subrutinas se presenta un ejemplo de la función que permite calcular la pertenencia de un conjunto difuso triangular, definido por los puntos a, b, c y un valor de la variable de entrada dada por x, se declara el tipo de dato a devolver. En este caso PE_T, todas las variables se definen como tipo *float*.

```
float PE_T(float x, float a, float b, float c)
{
    float pertenencia;
    if (x<a or x>=c)
    {
        pertenencia=0;
    }
    if (x>=a and x<b)
    {
        pertenencia=(x-a)/(b-a);
    }
    if (x>=b and x<c)
    {
        pertenencia=(c-x)/(c-b);
    }
    return pertenencia;
}
```

El cuerpo principal del programa de control difuso de la cámara de germinación comienza con la lectura de puertos y sensores para obtener los valores de las variables del sistema. A continuación, con los valores de las variables de entrada H y T se procede a calcular con las funciones de pertenencia y determinar cuáles son las reglas activas. Como las reglas se componen de la siguiente forma R_n : si x_1 es A_1 e y_2 es B_2 entonces la salida desfusificada z es:

$$z = \frac{x_1 \omega_1 + y_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (1)$$

En donde ω_1 y ω_2 son los pesos de las salidas difusas de las reglas activas.

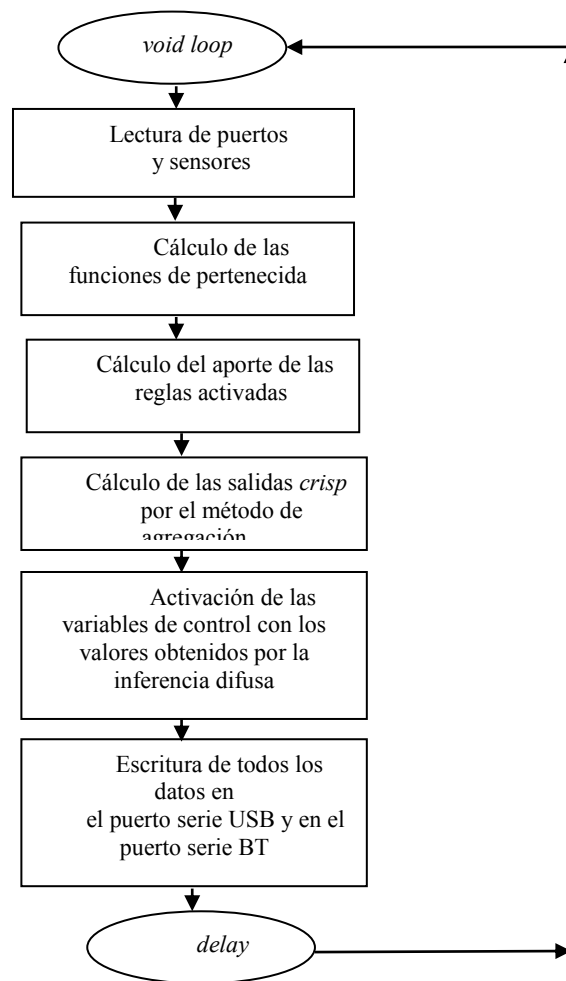


Fig. 4 Diagrama de flujo de la rutina *loop*

Una vez obtenidas las variables de control se procede a enviar las señales correspondientes a la placa de potencia. Luego se envían los valores de las variables por medio de los dos canales de comunicación: el puerto USB y el módulo BT. Antes de regresar al principio del ciclo se activa un retardo de un segundo como indica el diagrama de flujo de la Figura 4.

4 Resultados

Para evaluar la efectividad de la cámara de germinación, se realizó una comparación con un sistema de raíz flotante convencional, montado en una cuba en un recinto adiabático con temperatura controlada por un aire acondicionado y un panel de tubos fluorescentes que proveen de iluminación artificial constante. Se suministraron nutrientes hidropónicos en la misma proporción en ambos recipientes. Para verificar la cantidad de nutrientes presente se midió la CE, con un conductímetro digital marca TDS, obteniendo un valor de 2000 ppm.

Se realizaron mediciones de intensidad lumínica con un luxómetro marca Hepta-instrumentos (CEM), que cuenta con certificación de calibración emitida por el INTI. En la cuba se midieron 1150 lux y en el interior de la cámara 2100 lux.

En la Figura 5, puede apreciarse la diferencia en la calidad de las plántulas en ambos sistemas de germinación.

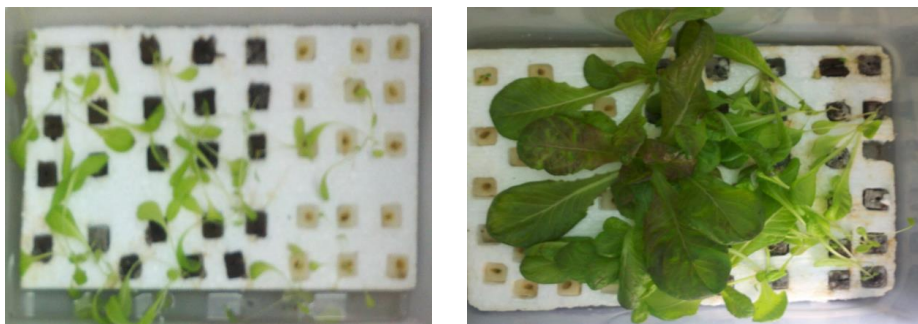


Fig. 5 Evolución de las plántulas a) en una cuba, b) en la cámara de germinación.

Los datos de temperatura y humedad relativa, de cada sistema de germinación se aprecian en los gráficos de la Figuras 6 y 7, como así también, la estabilidad de humedad y temperatura dentro de la cámara.

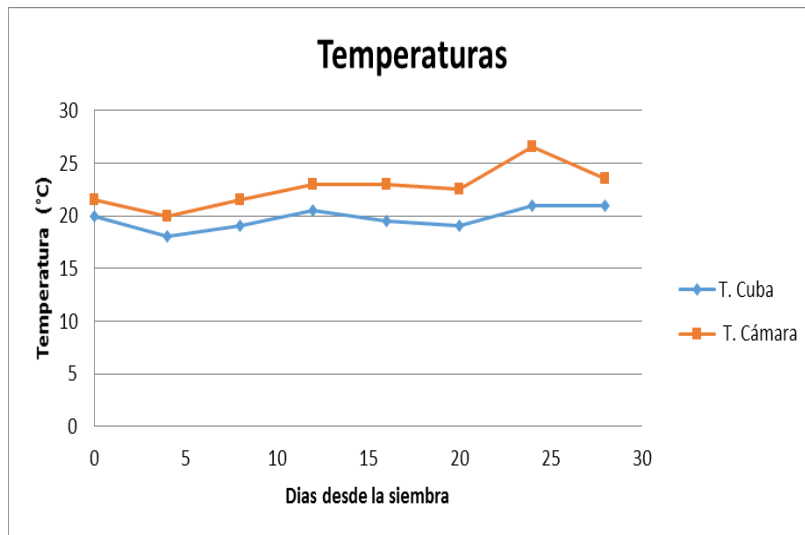


Fig. 6. Temperatura de la cámara en función de los días de siembra

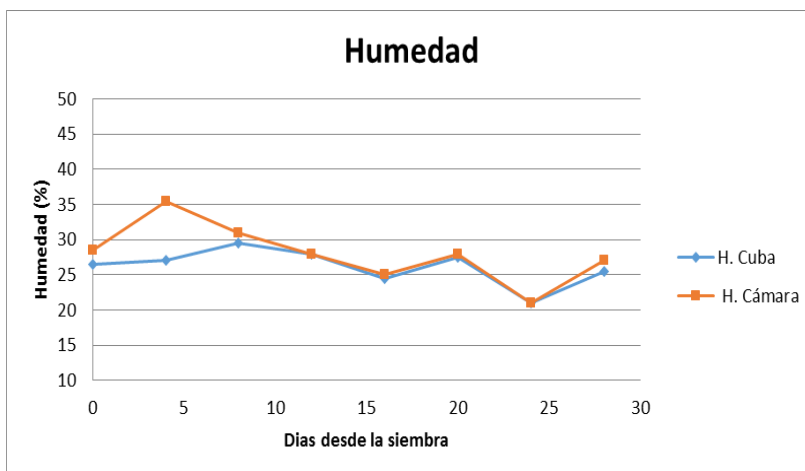


Fig. 7. Humedad de la cámara en función de los días de siembra

En la Figura 8 se observa una plántula extraída de la cámara, la cual tiene una longitud de 30 cm, una radícula de 13 cm y una cantidad de hojas de entre 5 y 7, lo que supera ampliamente las de la cuba a cielo abierto. Estos valores son superiores a los reportados en la literatura por otros autores, tanto en soluciones comerciales como con las fabricadas con el residuo de la destilación para la fabricación de alcohol [5]. Por otra parte, se realizaron experiencias con aplicación de distintos productos bioactivos, en suelo ferralítico rojo compactado, consiguiendo, en promedio, entre 3,97 y 5,71 hojas por planta en suelo a los 30 días [6], valores inferiores a los obtenidos en este trabajo.



Fig. 8. Cultivo obtenido a los 30 días.

Los costos de control, alcanzados en este trabajo, son inferiores a los de otros sistemas hidropónicos como el tipo “Dynamic Root Floating Hydroponic” (DRF) [7] que utilizan sistemas de control digitales, siendo además de difícil implementación en pequeños productores. Otros sistemas de control que utilizan lógica difusa en sistemas embebidos. [8] no muestran resultados de campo mientras que otros investigadores se concentran en mantener estable la cantidad de nutrientes y CO₂ [9], utilizando sensores de elevado costo.

5 Conclusiones y trabajos futuros

Se diseñó un controlador difuso tipo Sugeno para el control de una cámara de germinación hidropónica con el asesoramiento de expertos en biología vegetal del InBioMis. Se utilizó una placa Arduino Mega 2560 para la adquisición de datos y procesamiento de los mismos. Las variables de entrada corresponden a valores analógicos provienen de sensores de humedad y temperatura que se procesan mediante el software de control difuso, generando las señales de control de ventilación forzada e iluminación incandescente.

Los resultados obtenidos muestran que el controlador difuso provee un control del ambiente dentro de la cámara que mejora la producción de los cultivos.

Como trabajo futuro, se propone realizar controladores basados en lógica difusa diseñados para otros tipos de dispositivos de cultivos hidropónicos; como los de circulación película de nutrientes, y del tipo de raíz flotante con agitación de nutrientes.

Referencias

1. Zadeh L.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning". Information Sciences, 1(8), 199–249 (1975)
2. Nguyen H., Prasad N.: Fuzzy Modeling and Control: Selected Works of Sugeno. CRC Press, Boca Raton, Estados Unidos. (1999)
3. Mohamed M. & Alsadon A.: Influence of ventilation and sucrose on growth and leaf anatomy of micropropagated potato plantlets. Scientia Horticulturae, 123, 295–300. (2010)
4. Domingues D., Hideaki W . Takahashi B., Camara C. & Nixdorf. S.: Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. Computers and Electronics in Agriculture. 84, 53–61. (2012)
5. Dos Santos, J. D., Lopes da Silva, A. L., Da Luz Costa, J., Scheidt, G. N., Novak, A. C., Sydney, E. B., & Soccol, C. R.: Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. Journal of environmental management, 114, 8–12. doi:10.1016/j.jenvman.2012.10.045 (2013)
6. Elein Terry Alfonso, Josefa Ruiz Padrón, Tamara Tejada Peraza, Inés Reynaldo Escobar, M. M. D. de A.: RESPUESTA DEL CULTIVO DE LA LECHUGA (Lactuca PRODUCTOS BIOACTIVOS CROP RESPONSE OF LETTUCE (Lactuca sativa)., 28–37.(2010)
7. Kao, T. THE DYNAMIC ROOT FLOATING HYDROPONIC TECHNIQUE : YEAR-ROUND PRODUCTION OF VEGETABLES IN ROC ON TAIWAN, (1987)
8. Ponce, P., Pontecorvo, F. L., Tena, C., Muñoz, K. C., Valencia, D. Y., Salzar, G. I., & Rojas, M. A.: Mixed Hidropony Automatization Based on a Fuzzy Logic System, 1–6. (2005)
9. Liu, C., Li, Z., & Zeng, X.: Fuzzy control system for hydroponics cultivating. 2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation (pp. 7804–7808). IEEE. doi:10.1109/WCICA.2008.4594146. (2008)