

# **CONTROL DE RIEGO INTELIGENTE PARA AHORRO DE RECURSOS NATURALES**

Casco Romero, María Cecilia<sup>1</sup>; Martínez Méndez, Lía Maricel<sup>2</sup>;  
Kang Cardozo, Daisy Isabel<sup>3</sup>; Martínez Jara, Eustaquio Alcides<sup>4</sup>

Universidad Nacional del Este

Facultad Politécnica

Ciudad del Este, Paraguay

cecilia.casco7@gmail.com<sup>1</sup>; lia.maricel.mz@gmail.com<sup>2</sup>; kangdaisy@gmail.com<sup>3</sup>;

ealcidesmartinez@gmail.com<sup>4</sup>

## **RESUMEN**

El sistema de riego más utilizado en la región es el temporizado. Este sistema, al no tener en cuenta las condiciones del ambiente, en ocasiones puede regar los cultivos innecesariamente, por ejemplo en el caso de que haya ocurrido una precipitación reciente en la zona. Por lo que, resulta necesario desarrollar sistemas de riego automatizados que aprovechen de una manera más eficiente los recursos naturales. Los beneficios que pueden ser obtenidos de un sistema de riego eficiente son varios, de entre los cuales se pueden destacar: la reducción del costo laboral, la optimización del uso del agua y de la energía eléctrica. Además, estos sistemas pueden beneficiar el crecimiento y desarrollo de los vegetales, maximizando la producción del cultivo agrícola. En Paraguay estas ventajas tienen una magnitud aún mayor, considerando que es un país eminentemente agropecuario y su economía depende en gran medida de lo que ocurre en este sector.

Este trabajo tiene por objetivo proponer un sistema de riego inteligente que se ajuste a las necesidades reales de los vegetales, beneficiando su crecimiento y desarrollo, evitando al mismo tiempo desperdicios hídricos. El sistema utiliza lógica difusa para tomar decisiones referentes al tiempo de riego necesario, teniendo en cuenta reglas difusas predefinidas. Las entradas del sistema están dadas por características externas, tales como la temperatura, humedad del suelo y mes del año; siendo la salida del controlador difuso el tiempo de apertura de la válvula de riego. El sistema de riego inteligente presentado, determina de forma automatizada la cantidad de riego requerido para el cultivo. El mismo, integra de manera satisfactoria los datos de entrada y las órdenes de salida proporcionadas por el

controlador difuso; lo cual posibilita el accionamiento preciso de la electroválvula que controla el flujo de agua en el prototipo fabricado.

### **Palabras claves**

Controlador difuso, Sistema de Riego, Ahorro de agua, Ahorro energético.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La presencia de la automatización en las actividades humanas es cada vez más común, y las de jardinería y agricultura no son la excepción. Actualmente, los sistemas de riego automatizados más utilizados constan de temporizadores que asignan un turno y un tiempo de riego por sector, sin una programación ajustada a las condiciones del suelo y del clima.

Este artículo tiene por objetivo proponer un sistema de riego inteligente que se ajuste a las necesidades reales de los vegetales, beneficiando su crecimiento y desarrollo, y evitando al mismo tiempo desperdicios de agua.

En los trabajos desarrollados en (Mata-Garcia, Tortajada, González, 2007; Javadi, Tabatabaee, Omid, Alimardani, Naderloo, 2009; Rahangadale & Choudhary, 2011; Kazuhiro, Takako, Yoshitaka,; Prakashgoud, Umakant, Desai, Benagi, Naragund, 2012 ) se pudieron constatar que el volumen de agua utilizado durante el riego es reducido de forma considerable si se utiliza un sistema que se adecue a los cambios meteorológicos y a las propiedades específicas del tipo de suelo y planta. Este tipo de eficiencia puede ser alcanzada utilizando la lógica difusa como algoritmo de control del sistema de riego.

Los controladores difusos permiten generar una base de conocimientos que posibilitan tomar decisiones sobre las acciones del sistema a partir de variables de entrada provenientes, en la mayoría de los casos, de sensores. Las variables de entrada de un controlador difuso de sistema de riego pueden variar de acuerdo al entorno (invernaderos, jardines domésticos, cultivos agrícolas) en el cual se aplica el sistema. Sin embargo, estudios realizados en (Mata-Garcia. et al., 2007; Ed-dahhak. et al., 2013; Javadi. et al., 2009; Rahangadale. et al., 2011; Liai Gao, Meng Zhang, Geng Chen, 2013; Kazuhiro. et al., Prakashgoud. et al., 2012; Carrillo Reveles & Vázquez Minjares; 2008) establecen que las variables esenciales son las de humedad del suelo y temperatura ambiente, teniendo en cuenta que el aumento

o disminución de las demás variables de entrada utilizadas no representaron diferencias significativas en los resultados arrojados en dichos trabajos. Además, se le adicionó el mes de año para obtener una estimación de la radiación solar.

La variable de salida escogida para la futura implementación de este sistema consiste en el tiempo de apertura de las válvulas, tomando como referencia el caudal de agua utilizada en el riego por aspersión.

Los beneficios que pueden ser obtenidos de un sistema de riego eficiente son varios, de entre los cuales se pueden destacar: la reducción del costo laboral, y la optimización del uso del agua. Además, estos sistemas pueden beneficiar el crecimiento y desarrollo de las plantas, maximizando la producción del cultivo agrícola. En Paraguay estas ventajas tienen una magnitud aún mayor, considerando que es un país eminentemente agropecuario y su economía depende en gran medida de lo que ocurre en este sector (Zárate, 2000)

## **Objetivos**

### **General**

Desarrollar un controlador difuso que permita a un sistema de riego ajustarse a las necesidades de los vegetales.

### **Específicos**

- Construir un sistema físico para la recolección de datos de un entorno agrícola.
- Establecer rangos para los valores de las variables difusas.
- Analizar el funcionamiento del sistema de control propuesto.
- Estudiar los sistemas de riego inteligente existentes.

## **MARCO TEÓRICO**

### **LÓGICA DIFUSA.**

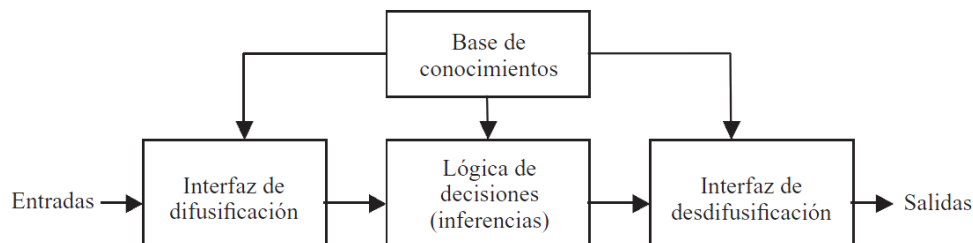
La lógica difusa fue creada para emular la lógica humana y tomar decisiones acertadas a pesar de la información imprecisa. Es una herramienta flexible que se

basa en reglas lingüísticas dictadas por expertos. Por ejemplo, la velocidad de un automóvil es una variable que puede tomar distintos valores lingüísticos, como "alta", "media" o "baja". Estas variables lingüísticas están regidas por reglas que dictan la salida del sistema.

En otras palabras, la lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos basados en grados de membrecía o pertenencia, cuya función es modelar información imprecisa. Este modelado se hace con base en reglas lingüísticas que aproximan una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema (composición). Esta lógica presenta rangos de membrecía dentro de un intervalo entre 0 y 1, a diferencia de la lógica convencional, en la que el rango se limita a dos valores: el cero o el uno. (Ponce Cruz, 2010).

## CONTROLADOR DIFUSO

Un controlador difuso está compuesto de cuatro partes principales: interfaz de fusificación, base de conocimientos, lógica de decisiones e interfaz de defusificación, las cuales se detallan a continuación.



**Figura 1.** Estructura de un controlador difuso

**Fusificador:** La fusificación tiene como objetivo convertir valores crisp o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

**Base de conocimientos:** La base de conocimientos contiene toda la información de la aplicación que se va a controlar, así como las metas del controlador. Consta de una base de datos (que proporciona las definiciones para el

establecimiento de reglas y la manipulación de datos difusos) y una base de reglas lingüísticas para controlar la variable.

**Reglas:** estas son reglas que dictan la acción de control que se va a tomar. Éstas se derivan de un experto. Dichas reglas tiene la estructura de relaciones. La lógica difusa se basa en relaciones, las cuales se determinan por medio de cálculo de reglas "SI-ENTONCES" (con las cuales se puede modelar aspectos cualitativos del conocimiento humano, así como los procesos de razonamiento sin la necesidad de un modelo matemático de precisión).

**Inferencia difusa:** Las reglas difusas representan el conocimiento y la estrategia de control, pero cuando se asigna información específica a las variables de entrada en el antecedente, la inferencia difusa es necesaria para calcular el resultado de las variables de salida del consecuente, este resultado es en términos difusos, es decir que se obtiene un conjunto difuso de salida de cada regla, que posteriormente junto con las demás salidas de reglas se obtendrá la salida del sistema. Por ejemplo, un método de inferencia es el de Mamdani por mínimos.

**Defusificador:** La defusificación realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores crisp, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Método del máximo, Media del máximo, Centro de área.

## **MATLAB**

Matlab es un paquete de software orientado hacia el cálculo numérico científico e ingenieril. Integra cálculo numérico, computación de matrices y gráficos en un entorno de trabajo cómodo para el usuario. Su nombre significa Laboratorio de Matrices y fue escrito inicialmente en base a los ya existentes paquetes de cálculo matricial LINPACK y EISPACK. Posteriormente se han añadido librerías, denominadas *Toolboxes*, especializadas en diferentes áreas científicas (González de Durana, 2004). La *Fuzzy Logic Toolbox* amplía el entorno de cálculo técnico de

MATLAB con las herramientas para el diseño de sistemas basados en lógica difusa. Esta herramienta permite programar y simular un controlador difuso.

## **PLACA ARDUINO**

Es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. La placa electrónica tiene todo lo necesario para proporcionar soporte al microcontrolador, basta con conectar la placa a una computadora con un cable USB o a un adaptador AC-DC o a una batería para empezar. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El Lenguaje de programación del Arduino se basa en C/C++ (Arduino, 2010).

## **EVAPOTRANSPIRACIÓN**

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de fase líquida a fase de vapor, desde la superficie a la atmósfera. El agua puede evaporarse desde una gran variedad de superficies tales como suelos, lagos, ríos y vegetación húmeda. La transpiración consiste en la vaporización de agua líquida contenida en los tejidos de la planta y en el transporte del vapor de agua a la atmósfera.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay forma sencilla de separar ambos procesos, por lo que al flujo de vapor de agua desde una cubierta vegetal se le denomina de forma general evapotranspiración. La proporción de evaporación y transpiración en un cultivo cambia según las diferentes fases de desarrollo y crecimiento (La Evapotranspiración: conceptos y métodos para su determinación).

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **MATERIALES**

#### **HARDWARE**

- Arduino Mega 2560.
- Sensores.
  - DHT11 (Humedad y temperatura ambiente).
  - SEN0114 (Humedad del suelo)
- RTC Tiny ds1307.
- LCD (Liquid Crystal Display) 16x2.
- Teclado 4x3.
- Electroválvula k-rain 7101.

#### **SOFTWARE**

- MatLab R2014a – *Fuzzy Logic ToolBox*.
- IDE Arduino 1.6.1.

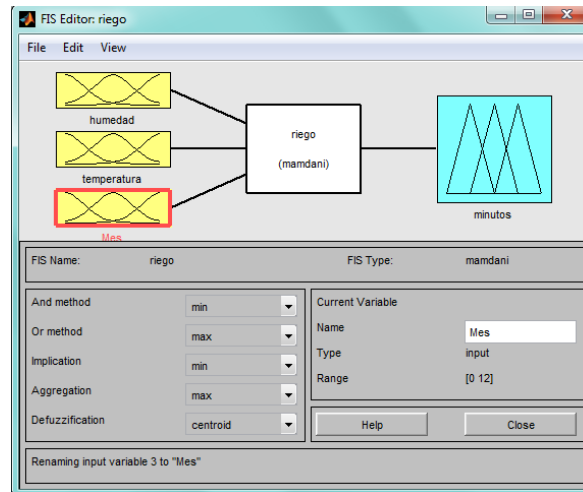
Teniendo en cuenta que el propósito del trabajo es proponer un sistema de riego que permita mejorar la calidad de los vegetales y la utilización eficiente de los recursos hídricos. Primeramente se estudiaron los sistemas de riego más utilizados en la región, comprobando que el más utilizado es el temporizado. Este sistema, al no tener en cuenta las condiciones del ambiente, en ocasiones puede regar los cultivos innecesariamente, por ejemplo en el caso de que haya ocurrido una precipitación reciente en la zona.

Para el desarrollo de la propuesta se han estudiado las diferentes alternativas para solucionar el problema, escogiendo la utilización de lógica difusa como método para la determinación de la cantidad adecuada de riego. Para la validación del sistema, se optó por la fabricación de un prototipo utilizando sensores de humedad de suelo, temperatura ambiente y una placa Arduino MEGA.

De modo a comprobar los resultados proveídos por el controlador difuso alojado en la placa Arduino se desarrolló un sistema de inferencia difuso en el software matemático MatLab. El mismo se modeló tomando como variables de entrada la



humedad del suelo, la temperatura del ambiente y mes del año, y como variable de salida el tiempo de apertura de las válvulas de riego.



**Figura 2.** Controlador Difuso

El primer paso para desarrollar el sistema de inferencia difuso consistió en mapear las entradas del sistema a variables lingüísticas o difusas, a este mapeo se le llama fusificación. Posteriormente se procedió a la determinación de las funciones de membrecía para cada una de las variables difusas definidas previamente.

Las funciones de membrecía fueron modeladas siguiendo una forma triangular; ésta fue seleccionada de entre todas las opciones disponibles, debido a que son ampliamente usadas en este tipo de problemas además de contar con una implementación simple y ofrecer buenos resultados.

Con las variables se forman reglas, las cuales son las que rigen la acción de control que será la salida del sistema. Para el cálculo de los consecuentes de las reglas del controlador se realizó una estimación de la pérdida de agua de una superficie cultivada en un periodo de tiempo específico. Esta estimación se logró mediante la ecuación de evapotranspiración de Penman-Monteith en conjunto con datos meteorológicos históricos de la región para la cual se programó el controlador difuso.

El método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de la evapotranspiración con parámetros climáticos, por ello para la estimación de la pérdida de agua del cultivo por evaporación y transpiración se recurrió a la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos proporcionada por la FAO (Food and Agriculture Organization).

Una vez obtenidos los datos reales por medio de los sensores se evalúa los requerimientos del vegetal de acuerdo a las reglas difusas definidas y así se obtiene el tiempo de riego adecuado.

El método seleccionado para la defusificación de los valores generados en la inferencia Mamdani fue el Centroide. El cual transforma la salida difusa en un número real.

## **CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

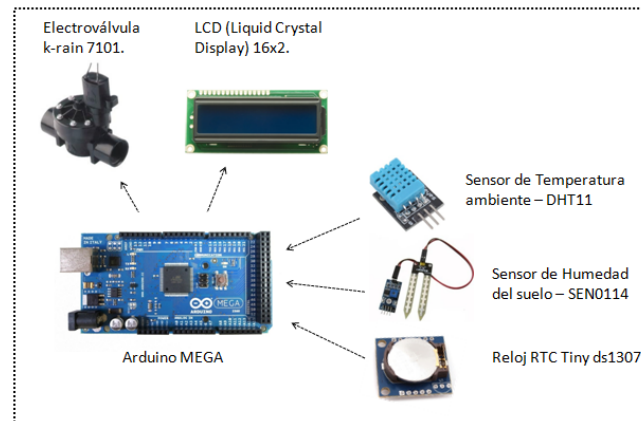
Una vez concluida la etapa de modelado del controlador difuso, en el software MatLab, se procedió a la construcción del prototipo cuyo esquema puede ser observado en la Figura 3.

En el Arduino MEGA se codificó; en el lenguaje de programación C, el programa de control difuso, utilizando la interfaz de programación del Arduino (Arduino IDE). Las entradas del controlador están dadas por datos proporcionados por los sensores de humedad del suelo (sensor SEN0114), de temperatura ambiente (sensor DHT 11) y un reloj RTC Tiny ds1307 que proporciona la fecha actual.

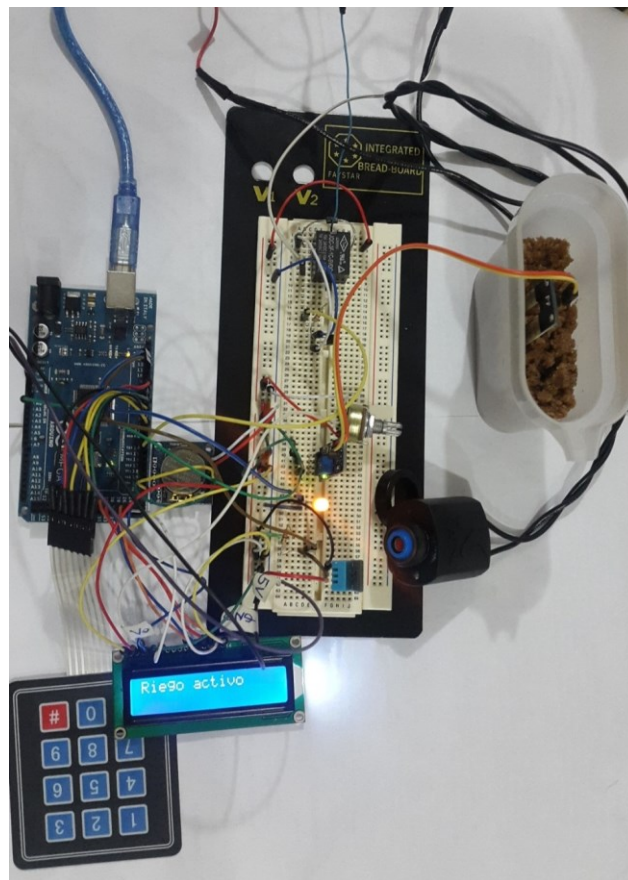
Una pantalla LCD fue incorporada al prototipo, la misma que permite visualizar el valor de la temperatura ambiente, la humedad del suelo, la hora actual y el estado del sistema; la selección de la información a mostrarse se realiza mediante el teclado.

El prototipo cuenta también con una electroválvula que es activada desde el Arduino, teniendo en cuenta la salida calculada por el controlador difuso (tiempo de

riego). Todos los componentes fueron interconectados utilizando una placa de prueba como puede ser observado en la Figura 4.



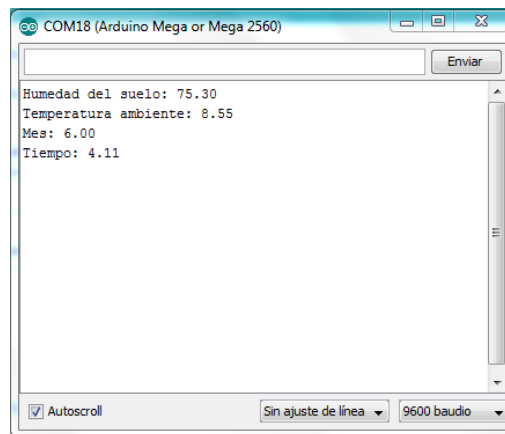
**Figura 3.** Esquema de conexión.



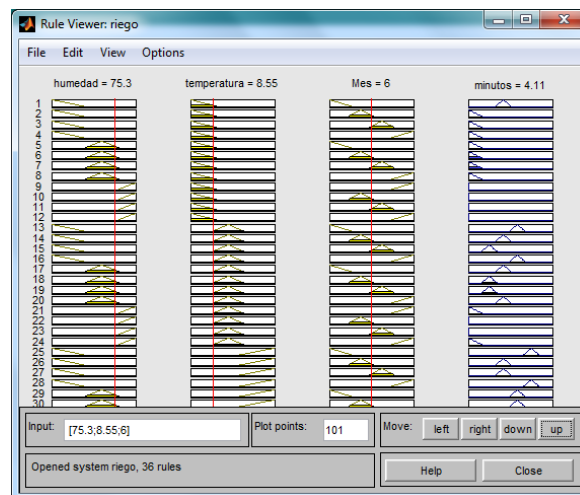
**Figura 4.** Prototipo montado.

### 3. RESULTADOS.

Mediante las pruebas se pudo constatar que las salidas provistas por el controlador difuso programado en la placa Arduino correspondían a las salidas programadas en el Fuzzy Logic ToolBox de Matlab (Figura 6). Manteniéndose la válvula de riego abierta durante el tiempo calculado por el controlador (Figura 5).



**Figura 5.** Resultados del controlador en la placa Arduino.



**Figura 6.** Controlador Difuso programado en Matlab

Además, se logró una correcta recolección de datos mediante los sensores escogidos, demostrando que los mismos responden correctamente a los cambios del entorno, reflejándose dichos cambios en la salida del sistema.

## **4. CONCLUSIÓN**

El sistema de riego más utilizado en la región es el temporizado. Este sistema, al no tener en cuenta las condiciones del ambiente, en ocasiones puede regar los cultivos innecesariamente, por ejemplo en el caso de que haya ocurrido una precipitación reciente en la zona. Por lo que, resulta necesario desarrollar sistemas de riego automatizados que aprovechen de una manera más eficiente los recursos naturales y a la vez permitan un ahorro económico.

El sistema de riego inteligente presentado, determina de forma automatizada la cantidad de riego requerida para un cultivo determinado. El mismo, ha conseguido integrar de manera satisfactoria los datos de entrada y las órdenes de salida proporcionadas por el controlador difuso. El programa de control difuso otorga de manera puntual los requerimientos hídricos en tiempo de riego, teniendo en cuenta las reglas difusas establecidas previamente. Esto permite el accionamiento preciso de la electroválvula que controla el flujo de agua en el prototipo fabricado.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se pudo constatar que es factible la implementación de un sistema de riego inteligente aplicando lógica difusa como método de ahorro de recursos económicos y naturales.

## **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

Allen Richard G., Pereira Luis S., Raes Dirk, Smith Martin (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>

Arduino (2010). Recuperado de <http://www.arduino.cc/es/pmwiki.php?n=>

Carrillo Reveles David Alejandro, Vázquez Minjares José Luis (2008). Automatización de un invernadero con el PLC S7-200. Recuperado de [http://ice.uaz.edu.mx/c/document\\_library/get\\_file?uuid=d8507a5e-b959-4ba3-b708-bf5734a0c8a3](http://ice.uaz.edu.mx/c/document_library/get_file?uuid=d8507a5e-b959-4ba3-b708-bf5734a0c8a3)

Dr. Ponce Cruz, Pedro (2010). Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería.

Ed-dahhak A., Guerbaoui M., ElAfou Y., Outanoute M, Lachhab A., Belkoura L., Bouchikhi B (2013). Implementation of fuzzy controller to reduce water Irrigation in greenhouse using labview. Recuperado de <http://www.eajournals.org/wp-content/uploads/IMPLEMENTATION-OF-FUZZY-CONTROLLER-TO-REDUCE-WATER-IRRIGATION-IN-GREENHOUSE-USING-LABVIEW.pdf>

González de Durana J.M. (2004). Introducción a MATLAB. Recuperado de <http://www.araba.ehu.es/depsi/jg/imatlab.pdf>

Javadi Kia P., Tabatabaee Far A., Omid M., Alimardani R., Naderloo L. (2009). Intelligent Control Based Fuzzy Logic for Automation of Greenhouse Irrigation System and Evaluation in Relation to Conventional Systems.

Kazuhiro Nakano, Takako Aida, Yoshitaka Motonaga, A Study On Development Of Intelligent Irrigation Systems For Melon Cultivation In Greenhouse. Recuperado de [http://www.afita.org/files/web\\_structure/20110126174028\\_862349/20110126174028\\_862349\\_64.pdf](http://www.afita.org/files/web_structure/20110126174028_862349/20110126174028_862349_64.pdf)

La Evapotranspiración: conceptos y métodos para su determinación. Recuperado de <http://www.economiaandaluza.es/sites/default/files/cap496.pdf>

Liai Gao, Meng Zhang, Geng Chen (2013). An Intelligent Irrigation System Based on Wireless Sensor Network and Fuzzy Control, Journal of networks, vol. 8.

Mata-García María Guijarro, Tortajada Agudo Estefanía, González Rivas Fernando (2007). Sistema de riego inteligente borroso. Recuperado de [http://eprints.ucm.es/9119/1/Sistema\\_de\\_Riego\\_Inteligente\\_Borroso.pdf](http://eprints.ucm.es/9119/1/Sistema_de_Riego_Inteligente_Borroso.pdf)

Prakashgoud Patil, Umakant Kulkarni, B.L. Desai, V.I. Benagi, V.B. Naragund (2012). Fuzzy logic based irrigation control system using wireless sensor network for precision agricultura. Recuperado de <http://insait.in/AIPA2012/articles/049.pdf>

Rahangadale V. S., Choudhary V. S (2011). On Fuzzy Logic based Model for Irrigation Controller using Penman-Monteith Equation. Recuperado de <http://research.ijcaonline.org/ncict/number4/ncict030.pdf>

Zárate Francisco (2000). Paraguay: Importancia del sector agrícola. Recuperado de

<http://www.aladi.org/nsfaladi/reuniones.nsf/d7a9692370623189032569960066550d/deb2c33541bf6c68032569960066b1be?OpenDocument>