

Los Sistemas Difusos como Herramienta de Modelación de la Producción Frutícola

Méndez, Zulma C. y Villegas, Paula A., *Jóvenes Investigadoras del Grupo Hidrociencias, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana.* (mendezs@javeriana.edu.co, pvillegas@javeriana.edu.co)

Resumen — En este trabajo se hace uso de la Caja de Herramientas de Lógica Difusa (*Fuzzy Logic toolbox*) de Matlab 7.0® para aplicar los conjuntos y la lógica difusa como herramientas de estimación del rendimiento esperado en la producción de cítricos en el departamento de Cundinamarca. De esta forma, se concibe e implementa un sistema difuso teniendo como variable de salida dicho rendimiento y como variables de entrada aquellas relacionadas con la hidroclimatología y la altitud. Las reglas que consideran las posibles combinaciones entre los conjuntos difusos de cada una de estas variables de entrada son obtenidas de expertos del gremio fruticultor. Los resultados sugieren que es posible trabajar con modelos simples difusos que además de mapear una relación no-lineal entre variables de entrada y el rendimiento, también permite incorporar el conocimiento experto de las personas involucradas en el proceso.

Índice de Términos —Caja de herramientas de lógica difusa, Rendimiento de producción de cítricos, Sistema difuso.

I. INTRODUCCIÓN

Las aproximaciones para los estudios de modelación han demandado y demandan en la actualidad por nuevas abstracciones que permitan mejorar nuestras habilidades predictivas de la naturaleza y por consiguiente procurar por un desarrollo sostenible [1]. La inteligencia computacional y los sistemas basados en reglas surgen como posibilidades dentro de las actividades de análisis y modelación de los diferentes sistemas ambientales proponiendo paradigmas de la Inteligencia Artificial tales como la Lógica Difusa, los Sistemas Expertos y los Sistemas apoyados en Lógica y Conjuntos Difusos.

Matlab® cuenta con un poderoso instrumento de modelación de Sistemas Difusos: la Caja de Herramientas de Lógica Difusa. Esta una colección de funciones construidas en un ambiente numérico computacional que provee herramientas para crear y editar Sistemas Difusos de Inferencia. Esta caja tiene una interfaz gráfica que facilita visualizar el sistema, permitiendo además, trabajar desde la línea de comandos dependiendo de la preferencia del usuario.

La Lógica Difusa se emplea porque es fácil de entender

conceptualmente, tolera información imprecisa, se puede usar para modelar funciones no lineales de complejidad arbitraria y construir un sistema con base en el conocimiento de expertos utilizando un lenguaje natural.

II. MARCO CONCEPTUAL

A. Lógica Difusa (LD)

La Lógica Difusa es una metodología que proporciona una manera simple de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta [2]. Esta metodología está basada en proposiciones que no cumplen con la ley de la media excluida de la lógica clásica, es decir, una proposición difusa no necesariamente es completamente falsa o completamente verdadera sino que puede tener valores intermedios.

Conjuntos Difuso: Al igual que en los conjuntos utilizados en la lógica clásica, un conjunto difuso está definido como la agrupación de varios elementos que poseen una característica común, pero a diferencia de los primeros, éstos no exigen la pertenencia absoluta de un elemento, sino que reconocen que no todos sus elementos poseen la característica en la misma magnitud. Sin embargo, cabe anotar que un elemento puede pertenecer simultáneamente a varios conjuntos en diferente proporción siempre y cuando la suma de sus grados de pertenencia sea igual a la unidad [3].

Función de Membresía: para definir el grado de pertenencia de un elemento x a un conjunto difuso A se utiliza una función que recibe el nombre de membresía, representada por $\mu_A(x)$, la cual tiene dominio en el “Universo de Discurso”, que representa los números reales en los cuales toma valores la variable analizada, y rango en los números reales comprendidos en el intervalo cerrado $X = [0,1]$ [3].

Operaciones entre Conjuntos Difusos: al igual que en los conjuntos clásicos, en los conjuntos difusos están definidas las operaciones intersección, unión y complemento [4].

Variables Lingüísticas: una variable lingüística está conformada por cuatro elementos que la describen tanto

Ponencia No. 1.

cuantitativa como cualitativamente [3].

Reglas Difusas: las reglas difusas son parejas de argumentos con operadores lógicos y se formulan así: *Si* la condición fue llevada a cabo *entonces* la consecuencia tiene que ser verdad. Las expresiones lógicas son formuladas usualmente por operadores lógicos como *y*, *o*, *no*, etc. [5].

B. Sistemas Difusos (SD)

En un sistema Mamdani se distinguen las siguientes partes (ver Figura 1) [4]:

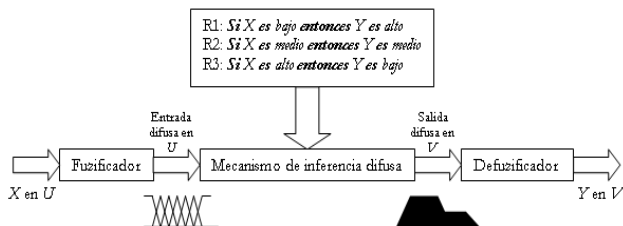


Fig. 1. Procesamiento general de un SD Mamdani (Adaptado de Ref. [4])

--**Difusificador:** la función del difusificador es transformar las entradas del sistema tipo Mamdani, que normalmente son valores numéricos, a un “lenguaje” que el mecanismo de inferencia pueda procesar como son los valores difusos. Los valores difusos son los niveles de pertenencia de los valores de entrada a los diferentes conjuntos difusos en los cuales se ha dividido el universo de discurso de las diferentes variables de entrada al sistema.

--**Mecanismo de inferencia difusa:** la función del sistema de inferencia es tomar los niveles de pertenencia provenientes del difusificador y, apoyado en la base de reglas, generar la salida del sistema difuso.

--**Base de reglas difusas:** la base de reglas es la forma en que el Sistema Difuso guarda el conocimiento experto que le permite resolver el problema para el cual ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo *si-entonces* y tienen dos partes, el antecedente y el consecuente. En un Sistema Difuso tipo Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas están dados por expresiones lingüísticas.

--**Defusificador:** convierte la salida difusa del mecanismo de inferencia en una salida que pueda ser interpretada por elementos externos que solo manipulen información numérica. La salida del mecanismo de inferencia es un conjunto difuso y para generar la salida numérica a partir de este conjunto existen varias opciones como el centro de gravedad y los centros promediados, entre otros.

III. CASO DE ESTUDIO

En este estudio se integran 5 variables hidroclimatológicas y 1 variable topográfica para estimar el rendimiento de la

producción de mandarina, naranja y limón en 34 municipios de Cundinamarca (Colombia). La información que corresponde a la producción de frutas para el año 2001 fue proporcionada por la Asociación Hortofrutícola de Colombia-ASOHOFRUCOL y la correspondiente a las variables hidroclimatológicas y topográficas (temperatura, evaporación, precipitación, humedad relativa, brillo solar y altitud) se obtuvo con el HidroSig¹. Esta información se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Variables hidroclimatológicas y altitud de 34 municipios de Cundinamarca obtenidas del HidroSig, año 2003. (vista parcial)

Municipio	T (°C)	E (mm/año)	P (mm/año)	B. S. (h/día)	H.R. (%)	Alt. (msnm)
Agua de Dios	26,2	1767,0	1160,3	5,3	75,0	421,4
Anapoima	24,2	1528,3	1208,0	5,2	75,7	828,2
Anolaima	18,8	1041,0	1282,3	5,1	77,1	1736,9
Apulo	25,0	1594,5	1178,8	5,3	75,4	720,4
Beltrán	26,5	1836,3	1191,4	5,7	75,2	386,3
Bituima	19,8	1158,5	1548,3	5,2	76,8	1545,2
Cachipay	20,3	1288,0	1321,0	5,2	76,6	1262,8
El Colegio	20,4	1203,5	1345,0	5,1	76,7	1376,6
El Peñón	21,7	1319,3	2289,0	4,4	76,3	1262,7
Fusagasuga	17,4	1164,3	1239,7	5,1	77,5	1699,8

Con la Caja de Herramientas de Lógica Difusa de Matlab®, se generó un Sistema Difuso (ver Fig. 2). Las variables de entrada al modelo son la temperatura (°C), la evaporación (mm/año), la precipitación (mm/año), la humedad relativa (%), el brillo solar (h/día) y la altitud (msnm). La variable de salida es el rendimiento de la producción de cítricos (t/ha). Para cada una de estas variables se definieron los conjuntos difusos (ver Fig. 3 y Fig. 4), basándose en una distribución de clases para cada una de ellas (histograma).

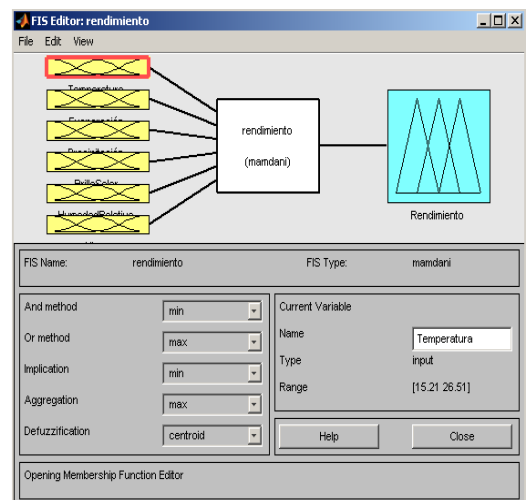


Fig. 2. Sistema Difuso tipo Mamdani para la Estimación del Rendimiento

¹ HIDROSIG. Versión 3.0 Beta, 2003. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.

Ponencia No. 1.

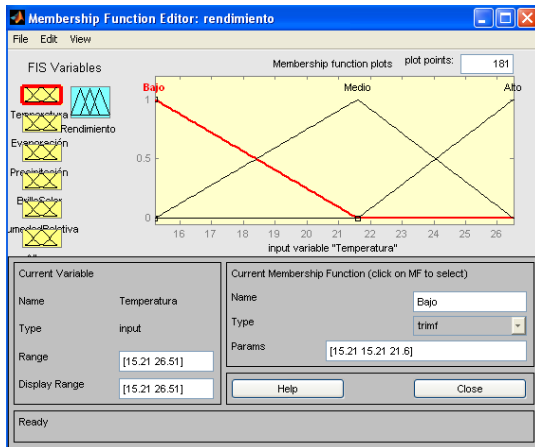


Fig 3. Definición de la forma y geometría de los conjuntos difusos para la variable Temperatura, empleando la interfaz gráfica de la caja de herramientas.

modelo experto.

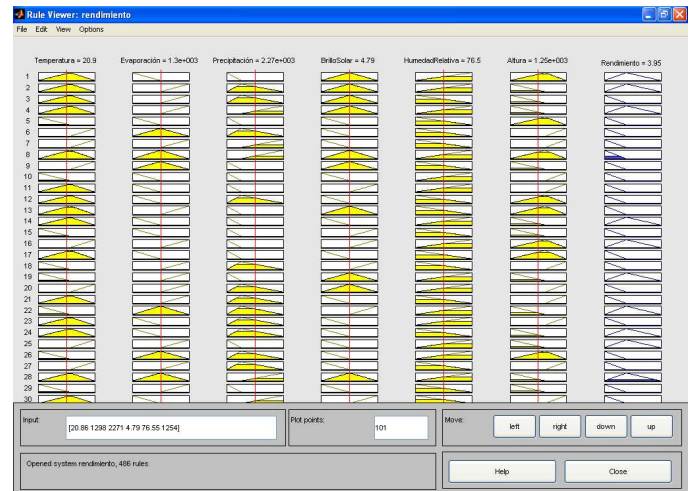


Fig. 5. Base de reglas del sistema difuso (vista parcial)

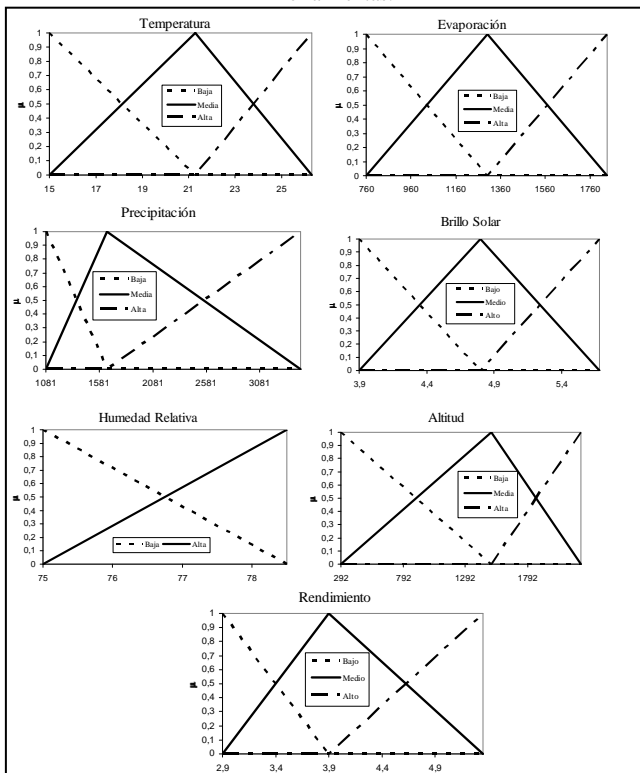


Fig 4. Conjuntos Difusos de las 6 variables de entrada y de la variable de salida

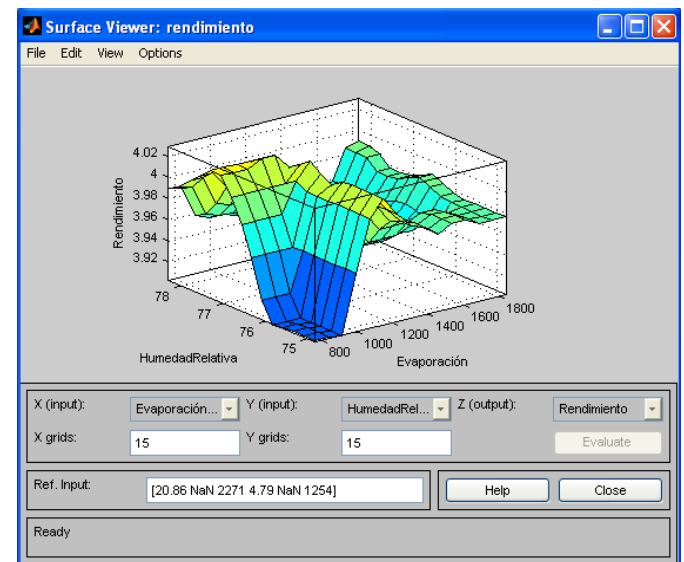


Fig. 6. Esquema tridimensional del sistema difuso para las variables de entrada evaporación y humedad relativa

Para generar la base de reglas (ver Fig. 5 y Fig. 6) se consultó a expertos del gremio fruticultor quienes, utilizando las etiquetas lingüísticas (alto, medio y bajo) que expresan los niveles de cada una de las variables, dieron respuesta a cada una de las 486 posibles combinaciones de los niveles de las variables de entrada, indicando el nivel del rendimiento esperado para cada una de ellas, creando de esta forma la base reglas que fueron introducidas al modelo difuso, generando un

Una vez definidas las variables de entrada, la variable de salida y la base de reglas es posible evaluar el sistema. Los resultados obtenidos al evaluar el SD con las variables de entrada de la Tabla I se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Rendimiento esperado de la producción de cítricos

Municipio	Rendimiento (t/ha)	Municipio	Rendimiento (t/ha)
Agua de Dios	4.24	Bituima	4.04
Anapoima	4.02	Cachipay	3.93
Anolaima	3.99	El Colegio	3.91
Apulo	4.16	El Peñón	3.92
Beltrán	4.07	Fusagasuga	3.87



A. Día *MATLAB* Agosto 25 2005

Ponencia No. 1.



IV. CONCLUSIONES

Esta innovadora aplicación computacional que ofrece Matlab®, proporciona evidencia adicional de la potencialidad de las herramientas de inteligencia artificial para integrar el conocimiento de expertos y la incertidumbre asociada a las variables involucradas en procesos complejos de toma de decisiones de sistemas informáticos.

Con esta aplicación fue posible estimar el rendimiento de la producción de cítricos en el Departamento de Cundinamarca empleando etiquetas lingüísticas para clasificar las variables de entrada que facilitan la interpretación humana.

V. REFERENCIAS

- [1] N. Obregón. Sistemas Inteligentes en Hidroinformática, Bogotá: Foro de Ingeniería Hidráulica ANEIC-2002, Pontificia Universidad Javeriana, 2002.
- [2] T. Mitchell, Machine Learning, Boston: McGraw-Hill, 1997.
- [3] Instituto Superior Tecnológico Jose Pardo. Tomado de Internet: <URL: <http://members.fortunecity.es/mickytafa2/p5.htm>> (consultado 01-2005).
- [4] E. Amado y J. Jaramillo. Trabajo de grado: Desarrollo de un Aplicativo de Modelación con Lógica y Conjuntos Difusos para la Zonificación de la Susceptibilidad a la Erosión. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Carrera de Ingeniería Civil, 2004
- [5] H. Nguyen y E. Walter. A first course in Fuzzy Logic. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2da. Ed., 2000.