

# PERFECCIONAMIENTO DEL MODELO ADOMA MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE LA AMBIGÜEDAD EN ALGUNO DE SUS PARÁMETROS

## Perfecting of the ADOMA model by means of the inclusion of the ambiguity in someone of its parameters

Edilson Moreno <sup>1\*</sup>, Marco López<sup>1</sup> y Gabriel Merino<sup>1\*</sup>

### ABSTRACT

In this work the Administration System of Agricultural Machinery Model (ADOMA) was improved, by including the economic losses due to tardiness in the operations execution, in addition, the uncertainty associated to economic losses was incorporated by using fuzzy logic. To this end, a decision support system was developed that performs the operation scheduling based on fuzzy logic. This system is called the Fuzzy Logic Decision Support System (FLDSS). The information about economic losses for tardiness of four common crops in the VIII Region of Chile was compiled. The values of losses were converted to fuzzy values and represented by fuzzy trapezoidal numbers. Subsequently, the fuzzy numbers were ranked in order to assess the priority in the execution of the operations and the assignment of machines. To validate the model, a stage was elaborated with crops for which information related to economic losses were available and with two crops without this type of information. The data were introduced in both models ADOMA and ADOMA FLDSS models. The results indicated that the obtained scheduling adjusts better to the requests of a stage with multiple crops, privileging those crops of greater economic importance to the farmer, in addition, the operations schedule was programmed within the established dates.

**Key words:** scheduling, multiple crop, tardiness, fuzzy logic.

### RESUMEN

En la presente investigación se perfeccionó el Modelo Sistema de Administración de Maquinaria Agrícola (ADOMA), mediante la inclusión de las pérdidas económicas por retraso en la ejecución de las labores, además se incorporó la incertidumbre asociada a estas pérdidas utilizando lógica difusa. Para tal fin se elaboró un sistema de soporte de toma de decisiones que apoya la programación de las labores basado en lógica difusa, llamado Sistema de Soporte de Decisión con Lógica Difusa (FLDSS). Se recopiló información de pérdidas por retraso de cuatro cultivos frecuentes en la VIII Región de Chile. Los valores de pérdida fueron convertidos en valores difusos y representados por números difusos trapezoidales. Posteriormente los números difusos fueron ordenados para establecer la prioridad en la ejecución de las labores y la asignación de las máquinas. Para validar el modelo se elaboró un escenario con cuatro cultivos con información de pérdida económica y dos cultivos sin información; los datos se introdujeron en el modelo ADOMA y en el modelo ADOMA con FLDSS. Los resultados indican que se logra una programación que se ajusta mejor a los requerimientos de un escenario con cultivos múltiples, privilegiando aquellos cultivos de mayor interés económico para el agricultor; además, las labores son programadas dentro de las fechas establecidas.

**Palabras clave:** programación, cultivos múltiples, retraso, lógica difusa.

---

<sup>1</sup> Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Casilla 595, Chillán, Chile.

E-mail: gmerino@udec.cl; edi\_leon@hotmail.com \* Autor para correspondencia.

Recibido: 15 de diciembre de 2004. Aceptado: 3 de mayo de 2005.

## INTRODUCCIÓN

La programación de labores con máquinas ha sido estudiada por la investigación de operaciones desde hace más de 40 años; estos trabajos se han orientado a la programación de máquinas de tipo industrial a través de modelos de optimización. Tal es el caso de Balakrishnan *et al.* (1999) y Sun y Wang (2003), quienes investigaron el problema de programar máquinas paralelas con retraso y adelanto. A diferencia de las máquinas industriales, las máquinas agrícolas desempeñan sus tareas en ambientes abiertos y dinámicos, donde eventos con un alto grado de incertidumbre pueden modificar la programación inicialmente establecida.

Los modelos de optimización empleados en programación de labores agrícolas, consideran uno o dos cultivos y pocas labores; es así como Higgins *et al.* (1998) y Hansen *et al.* (2002) analizaron la programación de labores de cosecha y transporte de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), donde el objetivo fue maximizar el rendimiento de la caña con relación a la fecha de cosecha y la edad del cultivo. Ekman (2000) diseñó un modelo de programación matemática para analizar la rentabilidad de sistemas alternativos de preparación y cultivo en granos de cereal y semillas de oleaginosas.

La lógica difusa forma parte de las técnicas de inteligencia artificial; ha sido empleada en forma satisfactoria en programación de máquinas industriales y para manejar la incertidumbre en la información en procesos de toma de decisiones. Sudiarso y Labib (2002) realizaron una aproximación basada en lógica difusa para un algoritmo de programación de producción y mantenimiento, y mediante lógica difusa determinaron las políticas óptimas para el control del sistema de producción.

Tedford y Lowe (2003) proponen un modelo de programación de producción empleando lógica difusa y algoritmos genéticos. Cha y Jung (2003) combinan lógica difusa y redes neuronales para valorar la satisfacción con una programación de producción de acuerdo con los objetivos globales de una compañía; los autores proponen una metodología que emplea números difusos para representar en forma lingüística la valoración de ciertos criterios. Otros autores han empleado números difusos para fortalecer los procesos de toma de decisión. Chang (2004) propuso un modelo que busca

determinar el orden óptimo de lotes en un problema de inventario de artículos con calidad imperfecta y con ello maximizar el beneficio total. Kader y Dugdale (2001) desarrollaron un modelo para la evaluación de proyectos de inversión en tecnología de manufactura mediante la matemática de procesos jerárquicos y lógica difusa; para conocer cuál proyecto es mejor, utilizan el orden de números difusos.

El modelo heurístico Sistema de Administración de Maquinaria Agrícola (ADOMA), fue elaborado por López (2000) en el Laboratorio de Mecanización y Energía de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción, como parte de su tesis para optar al título de Magister Scientiae en Ingeniería Agrícola. En el modelo se considera la competencia de las labores por máquinas y ésta es resuelta con base en el tiempo disponible para realizarlas; los equipos son asignados a la labor con menos tiempo disponible. En el modelo se incluyen los días de retraso de las labores, pero no las pérdidas económicas que este retraso puede generar, ni la ambigüedad existente en su valoración.

El objetivo de esta investigación fue perfeccionar el modelo de programación de labores agrícolas mecanizadas ADOMA, mediante la inclusión de las pérdidas económicas por retraso en el proceso de asignación de máquinas, empleando lógica difusa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ADOMA fue implementado por López (2000) en Turbo Pascal 6.0. En la presente investigación, para crear los algoritmos del Sistema de Soporte de Decisión con Lógica Difusa (FLDSS), se empleó la última versión de Turbo Pascal (versión 7.0 que cuenta con memoria extendida), en un computador personal con procesador Pentium III, con 10 Gb de capacidad en disco duro y 128 MB en memoria Ram.

La programación de las labores se inició calculando el tiempo requerido para realizar la labor. Para esto se consideran los días apropiados para realizar labores agrícolas obtenidos por Hetz (1988); si las labores no están retrasadas, se busca el conjunto implemento-tractor que esté disponible por el tiempo requerido y que posea las características técnicas requeridas por la labor. En caso de existir competencia entre dos o más labores por implemento o

tractor, se da prioridad a aquella con menos tiempo disponible para ejecutarla. En caso contrario, si dos o más labores están retrasadas y al mismo tiempo compiten por el mismo implemento o tractor, sus valores de retraso son transformados en pérdida económica para luego ser convertidos en valores difusos, y mediante técnicas de orden de números difusos se establece la prioridad en la ejecución de las labores.

Si una labor de un cultivo que no posee información de pérdidas por retraso se encuentra compitiendo por implemento y/o tractor con otra labor que sí posea información de pérdida, sea que esté retrasada o no, el conjunto implemento-tractor es asignado a aquella con información referente a la pérdida económica. Las labores en estos cultivos se postergan hasta encontrar conjuntos disponibles, o si se retrasan más allá de su fecha máxima se arrienda tractor y/o implemento. En la Figura 1 se ilustra en forma esquemática la metodología empleada por el modelo ADOMA y el modelo ADOMA FLDSS en la asignación de implementos y tractores en función de la pérdida por retraso.

**Datos empleados para validar el modelo**

La información que alimenta el algoritmo es almacenada en cinco archivos: cultivos, labores, tipos de implementos, implementos a programar, y tracto-

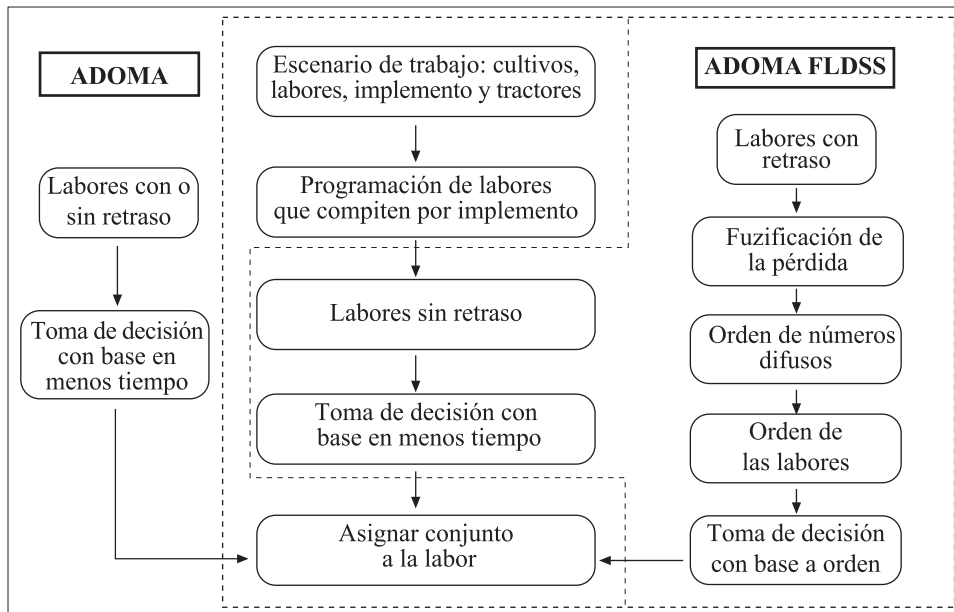
res. Se tomaron cinco cultivos, cada uno sembrado en dos potreros; el número de labores se estableció de acuerdo con las necesidades del cultivo. El número de tipos de implementos requeridos para realizar las labores fue 15, de éstos, dos contaron con dos implementos, los restantes contaron con uno. En el Cuadro 1 se presenta la información utilizada para validar el modelo generado.

**Cuadro 1. Datos para validar el modelo ADOMA.**  
**Table 1. Data for validating the ADOMA model.**

Cultivo	Superficie (ha)	Labores
Poroto 1	20	8
Poroto 2	30	8
Maíz 1	30	10
Maíz 2	30	10
Trigo 1	40	10
Trigo 2	40	10
Remolacha 1	20	14
Remolacha 2	25	14
Espárrago 1	5	8
Espárrago 2	15	8
<b>Total</b>		
Labores <sup>(1)</sup>		36
Tipos de implementos		15
Número de implementos <sup>(2)</sup>		17
Número de tractores		4

<sup>1</sup> Existen labores comunes a varios cultivos.

<sup>2</sup> Existen varios implementos de un mismo tipo.



**Figura 1. Asignación de implementos y tractores en las labores.**  
**Figure 1. Assignment of implements and tractors in the operations.**

**Definición de funciones de pertenencia**

De acuerdo con la calidad de la información recopilada y recomendaciones de un panel de expertos, se seleccionaron cuatro cultivos: poroto grano seco (*Phaseolus vulgaris L.*), maíz para ensilaje (*Zea mays L.*), avena (*Avena sativa L.*), y trigo (*Triticum aestivum L.*), de invierno y de primavera. Las labores mecanizadas con información de pérdidas económicas se agruparon así: aradura, rastraje, siembra, fertilización, control de malezas, control de plagas, control de enfermedades y cosecha. La pérdida económica asociada a cada labor mecanizada y cultivo se calculó a partir de la siguiente expresión; propuesta por los autores de esta investigación:

$$Pe = (Pp * Ar * Re * Pv)/100 \quad [1]$$

donde: Pe = pérdida económica (\$); Pp = pérdida por retraso (%) para cada cultivo; Ar = área que no se trabaja debido al retraso, tomando en cuenta el implemento que puede realizar la labor en menos tiempo (ha); Re = rendimiento (t ha<sup>-1</sup>), y Pv = precio de venta esperado para el cultivo (\$ t<sup>-1</sup>).

Los valores de pérdida económica por retraso se transformaron en valores difusos con tres niveles lingüísticos, bajo (B), medio (M) y alto (A), cada uno de ellos representado por un número difuso. Las funciones de pertenencia de los números difusos fueron de tipo trapezoidal y se definieron así:

Nivel o número bajo:

$$\mu_{B(x)} = \begin{cases} 1, & e_i \leq x \leq c_i \\ (a_i - x) / (a_i - c_i), & c_i < x \leq a_i \\ 0, & \text{Otro caso} \end{cases} \quad [2]$$

Nivel o número medio

$$\mu_{M(x)} = \begin{cases} (x - c_i) / (a_i - c_i), & c_i \leq x < a_i \\ 1, & a_i \leq x \leq b_i \\ (d_i - x) / (d_i - b_i), & b_i < x \leq d_i \\ 0, & \text{Otro caso} \end{cases} \quad [3]$$

Nivel o número alto:

$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 1, & d_i \leq x \leq f_i \\ (x - b_i) / (d_i - b_i), & b_i \leq x < d_i \\ 0, & \text{Otro caso} \end{cases} \quad [4]$$

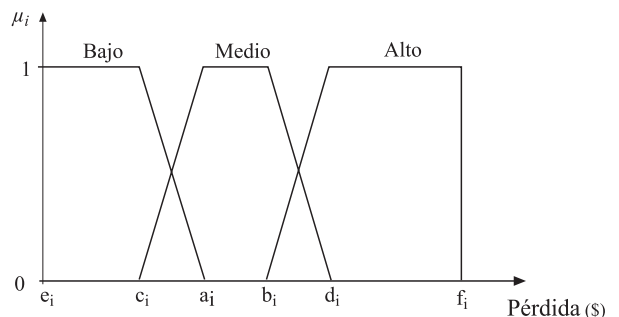
donde:  $\mu_B$ ,  $\mu_M$  y  $\mu_A$  es la función de pertenencia al número difuso bajo, medio y alto respectivamente.  $e_i$ ,  $c_i$ ,  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $d_i$  y  $f_i$  son los vértices de los números difusos.  $x$  representa la pérdida económica en pesos. En la Figura 2 se presentan las funciones de pertenencia para los tres niveles de pérdida económica.

Así, si la pérdida económica de una labor en un cultivo determinado se encontraba entre los vértices  $e_i$  y  $c_i$ , ésta poseía pertenencia completa al número bajo, es decir, la pertenencia a éste número era 1, mientras que para los números medio y alto era 0. Una pérdida entre  $a_i$  y  $b_i$  tenía pertenencia completa al número medio, y las pérdidas entre  $d_i$  y  $f_i$  tenían pertenencia completa al número alto. Los valores de pérdida económica entre  $c_i$  y  $a_i$  poseían pertenencia, tanto al número bajo como al medio y las pérdidas entre  $b_i$  y  $d_i$ , poseían pertenencia tanto al número medio como al alto.

**Método para ordenar números difusos**

Para ordenar los números difusos que representan las pérdidas asociadas a las labores retrasadas se empleó el método propuesto por Chen (1985), que se basa en los conceptos de conjunto maximizado y conjunto minimizado para encontrar el orden de números difusos con forma triangular o trapezoidal. De acuerdo con Chen, la función de pertenencia del conjunto maximizado  $f_M(x)$  y la del conjunto minimizado  $f_G(x)$  están dadas por:

$$f_M(x) = \begin{cases} w[(x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})], & x_{min} \leq x \leq x_{max} \\ 0, & \text{Otro caso} \end{cases} \quad [5]$$



**Figura 2. Números difusos trapezoidales. Figure 2. Trapezoidals fuzzy numbers.**

[6]

$$f_G(x) = \begin{cases} w [(x - x_{\max}) / (x_{\min} - x_{\max})]^k, & x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \\ 0, & \text{Otro caso} \end{cases}$$

donde:  $x_{\min}$  es el valor inferior y  $x_{\max}$  es el valor superior de la pérdida en los números difusos a ordenar,  $k$  es un factor que representa el riesgo de un tomador de decisión, y  $w$  es el mayor valor de pertenencia alcanzado en la función. Una vez obtenidos ambos conjuntos, se establecen los valores de orden o utilidad derecha  $U_M(i)$  e izquierda  $U_G(i)$  para cada número a partir del operador mínimo ( $\wedge$ ), así:

$$U_M(i) = \sup_x (f_{A_i}(x) \wedge f_M(x))$$

$$U_G(i) = \sup_x (f_{A_i}(x) \wedge f_G(x)) \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, n$$

donde:  $f_A$ ,  $f_M$  y  $f_G$ , son las funciones de pertenencia para el número difuso  $i$ , el conjunto maximizado y el minimizado, respectivamente.

Finalmente, el valor de utilidad total  $U_t(i)$  u orden de cada número difuso se establece como:

$$U_t(i) = \frac{[U_M(i) + w - U_G(i)]}{2} \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

### Programación de labores con FLDSS

En el modelo se emplean las siguientes premisas para realizar la programación de las labores y la asignación de implementos y tractores: siempre hay tractores y máquinas disponibles en arriendo, con las características requeridas; no se realizan simultáneamente dos labores en el mismo cultivo; sólo puede iniciarse una nueva labor cuando la anterior haya terminado; los implementos y tractores asignados sólo quedan disponibles cuando la labor está completamente finalizada; y de los implementos disponibles se selecciona el que realice la labor en el menor tiempo y el tractor de menor potencia capaz de realizarla.

En la Figura 3 se presenta en forma de diagrama de flujo la metodología implementada en el FLDSS para realizar la programación de las labores y la asignación de máquinas; dicha metodología fue elaborada por los autores del presente documento.

En la Figura 4 se ilustra el proceso de orden de números difusos realizado por el modelo, empleando el método propuesto por Chen (1985), dicho proceso fue desarrollado por los autores de este documento.

## RESULTADOS

### Análisis comparativo entre la programación obtenida con el modelo ADOMA y el modelo ADOMA FLDSS

En los Cuadros 2 y 3 se presentan las principales diferencias entre la programación obtenida con el modelo ADOMA y el modelo ADOMA FLDSS; sólo se incluyen aquellas labores cuya fecha de inicio fue modificada al emplear el FLDSS, al igual que los implementos y tractores con variación en las horas anuales de uso. Los valores positivos en la columna "Diferencia en días" representan los días de adelanto en el inicio de la labor, y los valores negativos los días de retraso en su inicio, respecto a los resultados entregados por el modelo ADOMA para el mismo escenario.

En el Cuadro 2, en la columna "Diferencia en días", se aprecia un valor medio de +1,88 a favor del modelo con FLDSS; esto significa que las labores con este modelo son programadas en promedio con 1,88 días de adelanto respecto al modelo ADOMA, es decir, en fechas más cercanas a sus valores teóricos de inicio, disminuyendo por lo tanto el retraso. Los valores negativos en la misma columna, se deben a que algunas labores fueron programadas en forma retrasada, ya que en su inicio existía maquinaria disponible para ejecutar la labor, sin embargo competían por implemento o tractor con otra labor y su valor de acuerdo con el orden difuso fue menor. Esto genera que la labor sea postergada hasta que exista maquinaria disponible o de lo contrario se debe arrendar, lo que a su vez posterga las labores siguientes en el cultivo. Tal es el caso de la labor aradura disco en el cultivo Poroto 2, la que se encuentra retrasada y lleva a que el inicio de la siguiente labor se retrase más allá de su fecha máxima y, por lo tanto, el modelo con el FLDSS programa esta labor en arriendo.

En el Cuadro 3 se aprecia que el modelo con FLDSS presenta incremento en el número de labores que requieren arriendo, lo que se debe a que el modelo ADOMA no cumple en forma satisfactoria la regla

**Cuadro 2. Comparación en la programación de labores entre los modelos Sistema de Administración de Maquinaria Agrícola (ADOMA) y ADOMA con Sistema de Soporte de Decisión con Lógica Difusa (FLDSS).**

**Table 2. Comparison between the operations schedule with the Administration System of Agricultural Machines (ADOMA) and ADOMA with Fuzzi Logic Decision Support System (FLDSS) models.**

Cultivo	Labor	Fecha de inicio		Diferencia en días
		ADOMA <sup>1</sup>	ADOMA FLDSS	
Espárrago 1	Control químico insecticida	14 septiembre	07 septiembre	7
	Fertilización	07 noviembre	06 noviembre	1
Espárrago 2	Control químico insecticida	09 septiembre	05 septiembre	4
	Fertilización	06 noviembre	03 noviembre	3
Poroto 1	Aradura disco	21 septiembre	06 septiembre	15
	Rastraje	Arrendar	27 septiembre	
	Control mecánico maleza	07 octubre	02 octubre	5
	Control químico maleza	16 octubre	05 octubre	11
	Siembra	18 octubre	07 octubre	11
	Acequiadura	05 noviembre	04 noviembre	1
	Control químico maleza	07 noviembre	05 noviembre	2
Poroto 2	Aradura disco	06 septiembre	16 septiembre	-10
	Rastraje	21 septiembre	Arrendar	
	Control mecánico maleza	01 octubre	08 octubre	-7
	Control químico maleza	06 octubre	13 octubre	-7
	Siembra	08 octubre	16 octubre	-8
	Acequiadura	03 noviembre	05 noviembre	-2
	Control químico maleza	05 noviembre	07 noviembre	-2
Remolacha 1	Rastraje	28 septiembre	21 septiembre	7
	Control químico maleza	Arrendar	27 septiembre	
	Rodillado	07 octubre	29 septiembre	8
	Siembra	10 octubre	Arrendar	
Remolacha 2	Fertilización	11 septiembre	10 septiembre	1
	Siembra	28 septiembre	29 septiembre	-1
Trigo 1	Siembra	17 agosto	21 agosto	-4
	Acequiadura	03 septiembre	02 septiembre	1
	Fertilización	02 octubre	01 octubre	1
Trigo 2	Siembra	30 agosto	Arrendar	
	Acequiadura	09 septiembre	12 septiembre	-3
	Fertilización	05 octubre	08 octubre	-3
	Control químico maleza	02 noviembre	01 noviembre	1
	Control químico enfermedades	05 noviembre	04 noviembre	1
Maíz 1	Fertilización	08 octubre	04 octubre	4
	Incorporación residuos	10 octubre	06 octubre	4
	Control químico maleza	17 octubre	12 octubre	5
	Siembra	19 octubre	15 octubre	4
Maíz 2	Rastraje	08 septiembre	08 septiembre	0
	Fertilización	10 octubre	06 octubre	4
	Incorporación residuos	16 octubre	08 octubre	8
	Control químico maleza	24 octubre	22 octubre	2
	Siembra	26 octubre	24 octubre	2
			<b>MEDIA</b>	<b>+1,88</b>

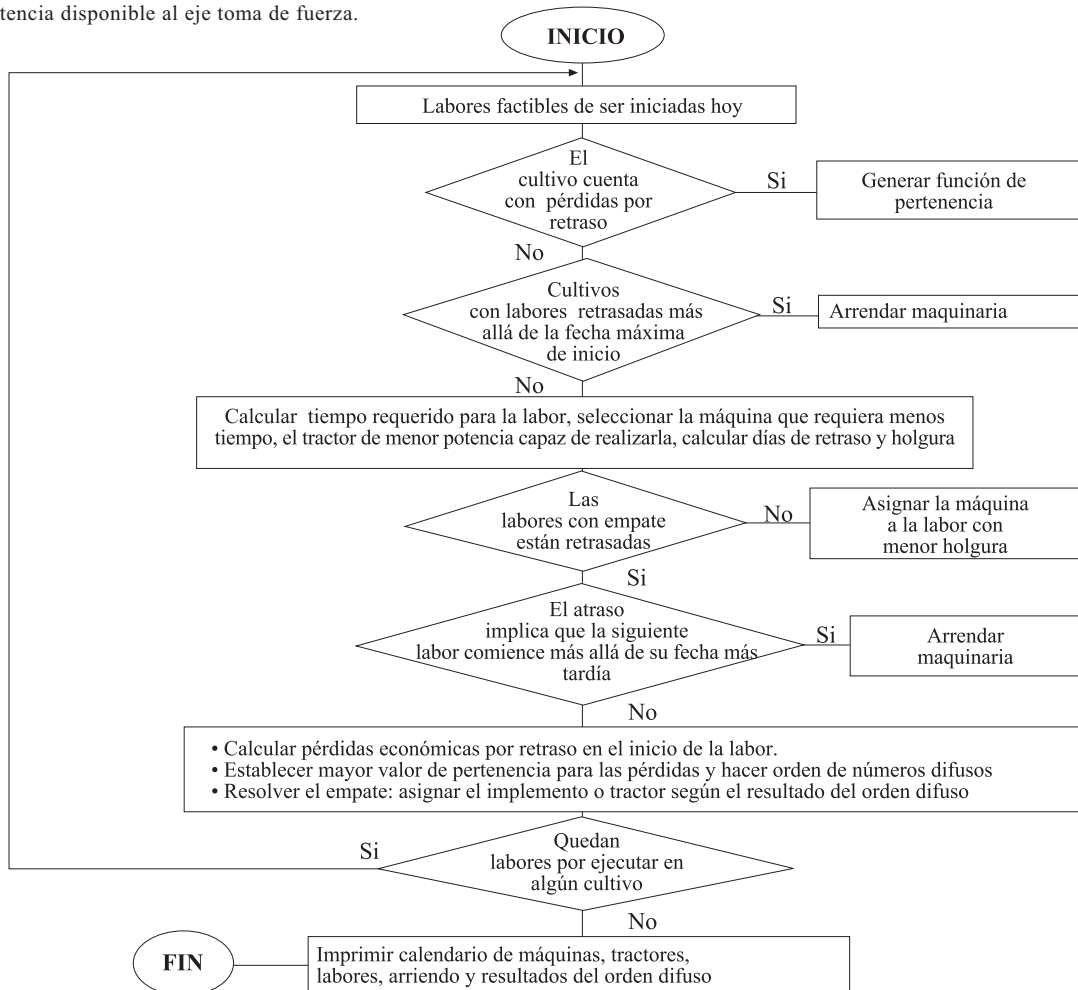
<sup>1</sup> Fuente: López, 2000.

**Cuadro 3. Uso de implementos, tractores y arriendo de máquinas con el modelo Sistema de Administración de Maquinaria Agrícola (ADOMA) y ADOMA con Sistema de Soporte de Decisión con Lógica Difusa (FLDSS).  
Table 3. Use of implements, tractors and rent of machines with the Administration System of Agricultural Machines (ADOMA) and ADOMA with Fuzzi Logic Decision Support System (FLDSS) models.**

Implemento o tractor	Horas de uso por año		Diferencia en horas
	ADOMA <sup>1</sup>	ADOMA FLDSS	
Pulverizadora de barra 1	142	145	-3
Pulverizadora de barra 2	50	54	-4
Rastra de discos	313	303	10
Sembradora neumática	149	119	30
Sembradora cereales	169	129	40
Tractor 1 (43 HP) <sup>2</sup>	580	550	30
Tractor 2 (43 HP) <sup>2</sup>	245	228	17
Tractor 3 (61 HP) <sup>2</sup>	558	560	-2
Tractor 4 (87 HP) <sup>2</sup>	554	527	27
<b>Arriendo</b>			
Labores que requieren arriendo	6	7	

1 Fuente: López, 2000.

2 Potencia disponible al eje toma de fuerza.



**Figura 3. Algoritmo para la asignación de máquinas con Sistema de Soporte de Decisión con Lógica Difusa (FLDSS).  
Figure 3. Algorithm to assign machines with Fuzzy Logic Decision Support System (FLDSS).**

que si una labor está retrasada mas allá de su fecha máxima de inicio se debe arrendar; es así como al observar el Cuadro 2, se aprecia que el modelo ADOMA programa la labor siembra en el cultivo Remolacha 1 para el día 10 de octubre, cuando la fecha máxima de inicio era 30 de septiembre. El modelo con FLDSS si logra cumplir esta regla y programa esta labor en arriendo, tal como se observa en el Cuadro 2.

### Toma de decisiones con orden difuso

El modelo con FLDSS permite que las labores se programen dentro de las fechas establecidas, y éstas se realicen teniendo en cuenta las pérdidas económicas por retraso en el inicio de las labores; además, la competencia por implementos o tractores se resuelve de acuerdo con los resultados del orden de números difusos, privilegiando aquellas labores que cuentan con información de pérdidas económicas por retraso. El modelo igualmente permite progra-

mar labores en cultivos que no cuentan con información de pérdidas económicas por retraso. El informe con los resultados del orden difuso se encuentra en el Cuadro 4.

El proceso de orden de números difusos se realiza en varias oportunidades definiendo la labor a ejecutar; en el Cuadro 4 se aprecia que para el día 6 del mes 9, tanto la labor 16 (rastraje) en el potrero Maíz 2, como la labor 8 (aradura) en el potrero Poroto 2, se encuentran esperando conjunto tractor-implemento. Ambas labores tienen como fecha posible de inicio el primer día del mes 9, sin embargo no son iniciadas en esta fecha, ya que todos los conjuntos tractor-implemento están ocupados. El día 7 del mes 9, un conjunto queda disponible, por lo tanto, éste es asignado el día 8 del mismo mes a la labor con mayor valor en el orden difuso, en este caso, la labor 16 (rastraje) en el potrero Maíz 2 (Cuadros 2 y 4).

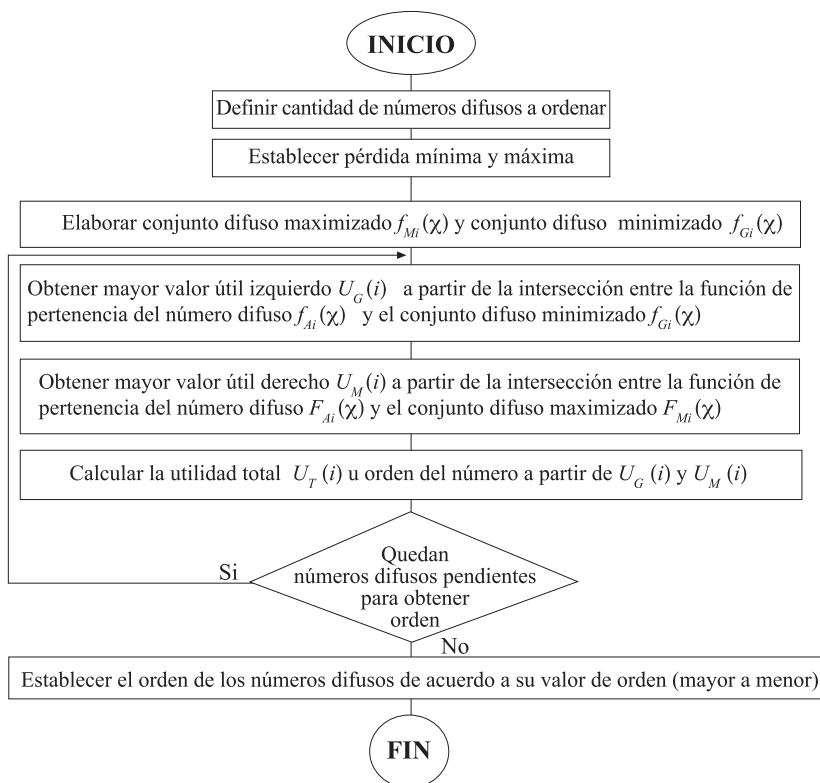


Figura 4. Algoritmo para ordenar números difusos.

Figure 4. Algorithm for ranking fuzzy numbers.



**Cuadro 4. Orden de labores retrasadas**  
**Table 4. Ranking of tardiness operations**

Día/Mes	Código cultivo	Nombre del cultivo	Código labor	Nombre labor	Código número	Número	Valor	Orden
22/8	8	Maíz 2	15	Rastraje	1	Bajo	0,357	1
22/8	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
2/9	8	Maíz 2	16	Rastraje	1	Bajo	0,313	2
2/9	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
2/9	7	Poroto 2	8	Aradura	1	Bajo	0,375	1
5/9	8	Maíz 2	16	Rastraje	1	Bajo	0,313	2
5/9	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
5/9	7	Poroto 2	8	Aradura	1	Bajo	0,375	1
6/9	8	Maíz 2	16	Rastraje	2	Medio	0,579	1
6/9	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
6/9	7	Poroto 2	8	Aradura	1	Bajo	0,214	2
4/10	8	Maíz 2	18	Fertilización	2	Medio	0,466	1
4/10	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
6/10	8	Maíz 2	18	Fertilización	3	Alto	0,625	1
6/10	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
8/10	8	Maíz 2	20	Rastraje	3	Alto	0,625	1
8/10	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				
12/10	8	Maíz 2	20	Rastraje	3	Alto	0,625	1
12/10	9	Remolacha 2		!!!Cultivo sin información de pérdidas, su valor es 0!!!				

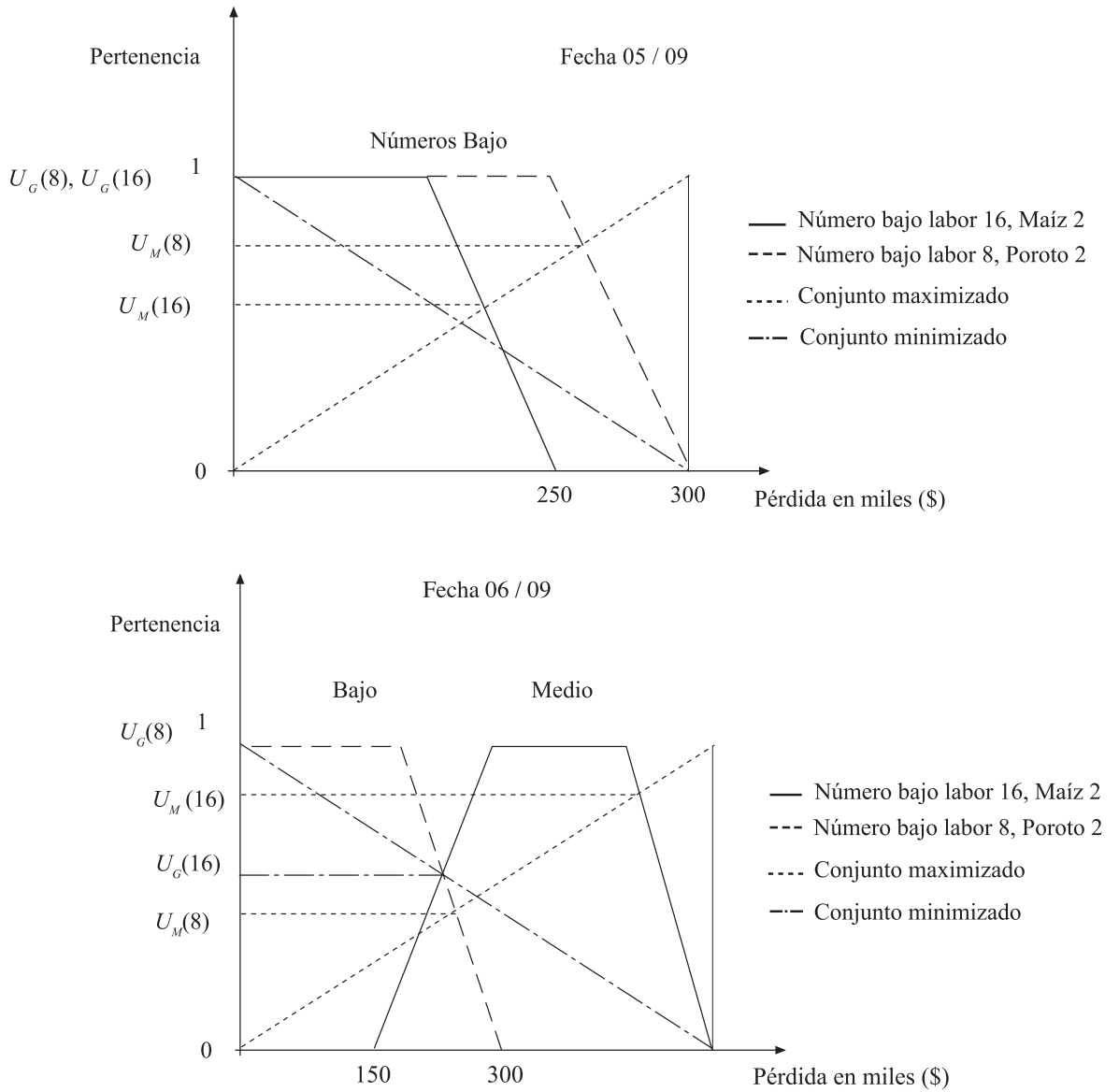
Del informe de resultados del orden difuso (Cuadro 4) se visualiza que para el día 6 del mes 9, la labor 16 del potrero Maíz 2 y la 8 del potrero Poroto 2 tienen una pérdida representada por los números difusos medio y bajo, con valores en el ranking de 0,579 y 0,214, respectivamente, por lo tanto se le da prioridad a la labor 16 (rastraje) del potrero Maíz 2, y la labor 8 (aradura) del potrero Poroto 2 se posterga hasta que haya implemento y tractor disponible. En el informe de programación de labores en potreros (Cuadro 2), la labor rastraje en el potrero Maíz 2, está asignada en forma congruente con lo anterior, ésta se inicia el día 8 del mes 9 y la labor 8 (aradura) en el potrero Poroto 2 sólo lo hace el día 16 del mismo mes cuando encuentra un conjunto tractor-implemento. Esta misma labor con el modelo ADOMA sin modificar, como se ve en el Cuadro 2, es programada para el día 6 del mes 9, es decir, 10 días antes.

Nótese en el Cuadro 4, que para el día 5 del mes 9, tanto la labor 8 del potrero Poroto 2 como la labor 16 del potrero Maíz 2, tienen un retraso de cuatro días con pérdidas representadas por el mismo número difuso bajo, sin embargo los valores del orden difuso son diferentes, 0,375 y 0,313, respectivamente. En este caso la labor con mayor valor en el orden difuso es la 8 (aradura) en el potrero Poroto 2, por lo anterior, si el conjunto tractor-implemento

hubiese estado disponible para el día 5 del mes 9, sería asignado a esta labor y no a la labor 16 (rastraje) del potrero Maíz 2, postergando su inicio hasta encontrar un conjunto tractor-implemento disponible. En este caso, a pesar que ambas labores tienen igual retraso y están representadas por el mismo número difuso bajo, el proceso de orden difuso permite conservar la importancia de los cultivos y las labores a través de un mayor valor en el orden. Esto es algo que no sucedería si la asignación se realiza comparando sólo los valores de pérdida económica, sin emplear lógica difusa. Lo anteriormente expuesto, se representa mediante la Figura 5.

## CONCLUSIONES

1. El sistema de soporte de decisión basado en lógica difusa o FLDSS permite realizar en forma eficiente la programación de las labores y asignar las máquinas en escenarios con múltiples cultivos.
2. Con la técnica de orden de números difusos empleada, fue posible manejar la incertidumbre existente en la información de pérdidas por retraso en el inicio de las labores y establecer la prioridad en la ejecución de las mismas de acuerdo con la importancia económica del cultivo



Donde:  $U_M(8)$  Valor útil derecho de la labor 8 del potrero Poroto 2;  $U_M(16)$  valor útil derecho de la labor 16 del potrero Maíz 2;  $U_G(16)$  valor útil izquierdo de la labor 16 del potrero Maíz 2 y  $U_G(8)$  valor útil izquierdo de la labor 8 del potrero Poroto 2.

**Figura 5. Proceso de orden entre la labor 16 del potrero Maíz 2 y la labor 8 del potrero Poroto 2.**  
**Figure 5. Process of ranking between operation 16 in corn lot 2 and operation 8 in dry bean lot 2.**

---

**LITERATURA CITADA**


---

- Balakrishnan, N., J.J. Kanet, and S.V. Sridharan. 1999. Early/tardy scheduling with sequence dependent setups on uniform parallel machines. *Computers & Operations Research* 26:127-141.
- Cha, Y., and M. Jung. 2003. Satisfaction assessment of multi-objective schedules using neural fuzzy methodology. *Int. J. Prod. Res.* 41:1831-1849.
- Chang, H.Ch. 2004. An application of fuzzy sets theory to the EOQ model with imperfect quality items. *Computers & Operations Research* 31:2079-2092.
- Chen, S.H. 1985. Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set. *Fuzzy Sets and Systems* 17:113-129.
- Ekman, S. 2000. Tillage system selection: A mathematical programming model incorporating weather variability. *J. Agric. Eng. Res.* 77:267-276.
- Hansen, A.C., A.J. Barnes, and P.W.L. Lyne. 2002. Simulation modeling of sugarcane harvest-to-mill delivery systems. *Trans. ASAE* 45:531-538.
- Hetz, H.E. 1988. Tiempo disponible para ejecutar operaciones agrícolas mecanizadas en Ñuble Central. *Agro-Ciencia* 4:59-65.
- Higgins, A.J., R.C. Muchow, A.V. Rudd, and A.W. Ford. 1998. Optimizing harvest date in sugar production: A case study for the Mossman mill region in Australia. I. Development of operations research model and solution. *Field Crop Res.* 57:153-162.
- Kader, M.G.A., and D. Dugdale. 2001. Evaluating investments in advanced manufacturing technology: A fuzzy set theory approach. *Br. Accounting Rev.* 33:455-489.
- López, M.A. 2000. Modelamiento de la programación de labores agrícolas mecanizadas en predios con cultivos múltiples. 74 p. Tesis M.Sc. Ingeniería Agrícola. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.
- Sudiarso, A., and A.W. Labib. 2002. A fuzzy logic approach to an integrated maintenance/production scheduling algorithm. *Int. J. Prod. Res.* 40:3121-3138.
- Sun, H., and G. Wang. 2003. Parallel machine earliness and tardiness scheduling with proportional weights. *Computer & Operations Research* 30:801-808.
- Tedford, J.D., and C. Lowe. 2003. Production scheduling using adaptable fuzzy logic with genetic algorithms. *Int. J. Prod. Res.* 41:2681-2697.