

EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y MULTIATRIBUTOS DE TRACTORES AGRÍCOLAS: UN MODELO Y CASO DE ESTUDIO*

MULTICRITERIA AND MULTIATTRIBUTE EVALUATION OF FARM'S TRACTORS: A MODEL AND A CASE OF STUDY

Jorge Luis García Alcaráz^{1§} y Salvador Anacleto Noriega Morales¹

¹Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura - Instituto de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Teléfono: (656) 688 4843 Av. Henry Dunant 4016, Zona Pronaf. Ciudad Juárez, Chihuahua, México. C. P. 32310. [§]Autor para correspondencia: jorge.garcia@uacj.mx

RESUMEN

Tradicionalmente, las inversiones en tecnologías agrícolas son justificadas mediante análisis económico, pero este tipo de técnicas solo utilizan aspectos financieros y la tecnología agrícola tiene diferentes atributos que la caracterizan; omitiéndose generalmente factores cualitativos en el análisis. El objetivo es presentar un modelo de evaluación para selección de tractores agrícolas, el cual tiene un enfoque multicriterio y multiatributos. Se considera un conjunto de atributos objetivos y subjetivos, donde la evaluación se realiza a través de un grupo de decisión. Para la determinación de los principales atributos que debían ser integrados en el modelo, se construyó un cuestionario con veinte de éstos, el cual fue aplicado a agricultores y vendedores de maquinaria agrícola, quienes emitieron su juicio sobre la importancia que para ellos tiene cada atributo en la adquisición de un tractor. Usando análisis factorial se determinó que siete de estos atributos son las más importantes en la toma de decisiones de inversiones. El modelo está basado en TOPSIS (technique for order preference by similarity to the ideal solution), donde cada alternativa es caracterizada por los siete atributos. De los mayores valores de esos atributos, se genera una alternativa ideal y de los peores una anti-ideal, respectivamente; calculándose la distancia que tiene cada alternativa a éstas y eligiéndose aquella que tiene la menor distancia Euclidiana a la ideal, y la mayor a la anti-ideal. El

modelo fue validado mediante un caso de estudio en Colima, México en junio de 2005 y fue considerado como eficiente por el grupo de decisión que lo empleó.

Palabras clave: inversión en tecnología agrícola, tecnología agrícola avanzada, TOPSIS.

ABSTRACT

Traditionally, the investments on farm's technology are justified using economic analysis, but this type of techniques only use economic factors omitting qualitative factors; however, farm equipment technology have different attributes that characterize it. The objective is to illustrate an evaluation model for choosing farms tractors with a multicriteria and multiattribute focus, which takes into consideration a set of objective and subjective attributes, and a decision group realizes the evaluation. For the determination of the main attributes that must be integrated in the model, a questionnaire was elaborated and applied to farmers and tractors salesman, who indicated the level of importance they assign to some attributes in the decision making process in the purchasing of a tractor. The questionnaire included twenty main attributes; nevertheless

* Recibido: Enero de 2007
Aceptado: Diciembre de 2008

by using a factorial analysis it was determined that only seven of these represented the variability of the investment process. The model is based on TOPSIS (technique for order preference by similarity to the ideal solution), where every available tractor was characterized through those seven attributes, where the higher values generate an ideal alternative and the lower values an anti-ideal alternative, selecting the alternative that has the smaller Euclidian distance to the ideal alternative and the larger distance to the anti-ideal alternative. The model was tested with a case of study in Colima, Mexico in June 2005 and was considered efficient by the decision group that utilized it.

Key words: advanced farm's technology, investment in farm's technology, TOPSIS.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, altos estándares de calidad y bajo costo en los productos y subproductos agrícolas son ampliamente demandados por los consumidores; por lo que éstas características son objetivos estratégicos de las empresas agroindustriales y pequeñas granjas, las cuales frecuentemente responden invirtiendo en tecnología avanzada (TA) con el fin de alcanzarlos y mantenerse en el ambiente dinámico de mercado de estos tiempos de globalización (Lazzari y Mazzetto, 1996). Sin embargo, los directivos de las agroindustrias y productores agrícolas (PA) que deciden invertir en TA, se enfrentan a otro tipo de problemas en la selección de la tecnología idónea, ya que existen alternativas de solución en el mercado, atributos involucrados y técnicas de evaluación (Lal *et al.*, 1997).

En el caso específico de los atributos de evaluación para inversiones en TA, es ampliamente aceptado que existen dos tipos de éstos: 1) atributos objetivos, los cuales son medidos generalmente en términos numéricos y representan características de costos e ingeniería (Braglia y Gabbrielli 2000), y 2) atributos subjetivos, éstos se determinan a través de juicios de personas expertas en el área, quienes basados en su experiencia, valoran la contribución de las alternativas con respecto a los atributos en evaluación. Por ejemplo, Parkan y Wu (1999), solicitaron a personas expertas que emitieran su juicio sobre la presencia de éstos en las alternativas en una escala comprendida entre un valor máximo y un valor mínimo, finalmente los valores obtenidos por cada atributo en cada alternativa fueron promediados, obteniendo así un valor representativo que se integra al proceso de evaluación.

Con respecto a las técnicas de evaluación tecnológica que existen, Chan *et al.* (2001) las dividen en económicas, estratégicas y analíticas. Las técnicas económicas representan la práctica industrial, sin embargo, no integran aspectos cualitativos en el análisis y sus modelos son calificados como insuficientes, ya que no representan la totalidad del problema de inversión; según Chan *et al.* (1999), algunos ejemplos de estas técnicas son el valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y costo anual uniforme equivalente (CAUE). Con respecto a las técnicas estratégicas, éstas se basan en los objetivos y misión de la empresa; sin embargo, no integran aspectos económicos en la evaluación (Dessureault y Scoble, 2000). Finalmente, las técnicas analíticas son poco conocidas, pero tienen la ventaja de poder integrar en la evaluación aspectos económicos, estratégicos, sociales y tecnológicos, por lo que se recomienda ampliamente su uso; algunas de estas técnicas son el proceso de jerarquía analítica (AHP, analytic hierarchy process, por sus siglas en inglés), análisis dimensional (AD), TOPSIS y el modelo lineal aditivo (MLA).

Las técnicas anteriores, multicriterio y multiatributos, aplicadas en la evaluación de TA aplicada a la industria es ampliamente reportada en la literatura; por ejemplo, Boubekri *et al.* (1991) desarrollaron un sistema experto para la selección y evaluación, Offodile *et al.* (1987) y Wei *et al.* (1992) emplearon métodos auxiliados por computadora, Imany y Schlesinger (1989) implementaron una técnica de programación por metas, la cual ofrecía como resultado una solución similar a una solución ideal previamente establecida, Knott y Gretto (1982) inicialmente propusieron una metodología económica que incorporaba varios costos y recientemente, García *et al.* (2005a) y García *et al.* (2005b) establecieron un modelo multicriterio basado en TOPSIS para evaluar un robot.

Las aplicaciones de técnicas cuantitativas en la evaluación de TA aplicada a la agricultura, son muchas y con diferentes enfoques; por ejemplo, Russell *et al.* (1983) realizaron simulaciones estocásticas para evaluar maquinaria trituradora de forraje; Elhorst (1993) generó una ecuación para inversiones en maquinaria basado en la disposición de terreno e infraestructura; Sogaard y Sorensen (2004) han propuesto un modelo no lineal para determinar el límite de la inversión en procesos de mecanización agrícola y finalmente, Camarena *et al.* (2004) propusieron un modelo de programación lineal entera mixta para evaluación de maquinaria agrícola. Sin embargo, las evaluaciones anteriores hacen uso solamente de factores cuantitativos,

ignorando características de tipo cualitativo de la tecnología avanzada en agricultura (TAA).

Por lo anterior se concluye que las inversiones en TAA son un problema complejo, no definido o estructurado y los enfoques tradicionales (cualitativos, generalmente) consideran en el análisis solamente aspectos operativos y económicos. Cuando los modelos integran solamente atributos económicos, existe el riesgo de que la inversión tecnológica sea un fracaso (Yusuff *et al.*, 2001). Específicamente, los fracasos en agricultura del estado de Iowa en Estados Unidos son ampliamente citados (Edwards, 2001a; Edwards, 2001b; Edwards, 2001c; Edwards, 2001d; Edwards, 2001e). De la misma manera, la complejidad del problema de inversiones en tecnología agrícola y las consecuencias de un análisis inadecuado de éste es reportado en otros países (Wiemers y Behan, 2004; Latruffe, 2005; Vercammen, 2007).

Por ello, dado que en Colima, México, la agricultura es una de las principales actividades económicas y la inversión en TAA es muy frecuente, enfrentándose los agricultores con la carencia de modelos para la evaluación de su maquinaria; el objetivo de este artículo es presentar un modelo multicriterio y multiatributos basado en la técnica TOPSIS, el cual integra atributos de tipo cualitativo y cuantitativo, mismo que se expone mediante un caso de estudio, el cual fue realizado en Colima, México en 2005, mismo que es fácil de realizar por productores agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la generación de un modelo objetivo se requiere que las variables que describan el problema estén integradas y sean consideradas con el nivel de importancia que éstas deservan. En el caso del modelo para justificación de inversiones en TAA se procedió a generar dos cuestionarios, el primero estaba dirigido a los campesinos y el segundo a los vendedores de maquinaria agrícola (MA); para la generación de éstos se recurrió a tres campesinos y tres vendedores de maquinaria. Cada cuestionario constó de una lista de veinte atributos, siendo éste validado por personal académico, gerentes de ventas de MA y los propios PA.

El cuestionario se aplicó a una muestra de 38 PA y tres distribuidores de maquinaria agrícola (DMA), el cual buscó determinar los niveles de importancia que los encuestados asignaban a cada uno de los atributos o parámetros en una escala Likert entre uno y nueve. El uno representa una

importancia nula del atributo y el nueve, la importancia extrema. La información proporcionada por los encuestados fue capturada con el software SPSS 12 donde se realizó un análisis factorial de todos los atributos por medio del método de análisis de componentes principales, encontrándose que solamente siete de éstos representaban la mayor variabilidad de los datos, por lo que el modelo propuesto se basa solamente en éstos. El objetivo de este análisis factorial fue reducir el número de atributos en el modelo generado, ya que con 20 de éstos no existía la parsimonia buscada en el mismo.

Los principales atributos que resultaron ser más importantes son: el costo inicial (CI), costo de mantenimiento anual (CM), litros de diesel por hora de servicio (DH), costo de refacciones (CR), seguridad para el operador (SO), facilidad para realizar cambios en los implementos (FI) y el servicio al cliente por parte del proveedor (SC). Los primeros cuatro parámetros son de carácter cualitativo (CI, CM, DH y CR); sin embargo, para la determinación de los últimos tres se requiere de la experiencia y juicios de expertos, por lo que sus valores son subjetivos y esto permite generar un modelo que no sólo considera aspectos económicos en el análisis.

Para la determinación de las alternativas se realizó un rastreo tecnológico con los diferentes proveedores de maquinaria agrícola y se determinó analizar tres tractores, los cuales se representan por A¹, A² y A³. La información específica de las alternativas se omite por razones de confidencialidad.

De los datos obtenidos al realizar las encuestas, los PA y DMA de TAA declararon que sería muy conveniente poseer un tractor que logrará calificaciones de nueve (máximo valor según la escala de evaluación usada) en todos los atributos evaluados y que un tractor que posea solo unos representaría a un equipo que jamás sería comprado. Así, se entiende que los campesinos tienen un tractor ideal y un tractor anti-ideal y la técnica que emplea estos conceptos se denomina TOPSIS, misma que se expone a continuación en términos generales y su aplicación específica aparece en la sección de resultados:

Supóngase que J atributos objetivos y L atributos subjetivos se han identificado en relación con el problema de selección de tecnología. Los J atributos subjetivos son denotados por X_1, X_2, \dots, X_J , y los L atributos subjetivos son denotados por $X_{J+1}, X_{J+2}, \dots, X_{J+L}$ (Parkan y Wu, 1999).

Los valores de los atributos objetivos para el proceso de selección son generalmente proporcionados por el constructor de la TAA. En este trabajo se representan esos valores en una matriz de valores objetivos (VO), tal como se indica en (1).

$$VO = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^1_{j+1} & X^1_{j+2} & \dots & X^1_{j+L} \\ X^2_{j+1} & X^2_{j+2} & \dots & X^2_{j+L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X^k_{j+1} & X^k_{j+2} & \dots & X^k_{j+L} \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde:

- X^k_j = valor del atributo
- j = para la TAA
- k = para $k=1, \dots, K$ y $j=1, \dots, J$.

Los valores de los atributos subjetivos para la selección de la TAA son obtenidos por calificaciones de expertos. Supóngase que P campesinos concedores de la TAA son invitados a calificar las alternativas con respecto a cada uno de los atributos subjetivos, los cuales forman el grupo de decisión (GD). Parkan y Wu (1999) y Goh *et al.* (1996) proponen que los elementos del GD califiquen expresando su juicio sobre el atributo mediante un número entero entre uno y nueve, donde el uno representa la más baja calificación para un atributo y el nueve indica la mejor. Una matriz de valores subjetivos (VS) es construida por cada integrante del GD, tal como se indica en la matriz (2).

$$VS^p = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^{1p}_{j+1} & X^{1p}_{j+2} & \dots & X^{1p}_{j+L} \\ X^{2p}_{j+1} & X^{2p}_{j+2} & \dots & X^{2p}_{j+L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X^{kp}_{j+1} & X^{kp}_{j+2} & \dots & X^{kp}_{j+L} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Las P matrices VS^p que proveen los integrantes del GD se suman término a término, generando una matriz total, en la cual se divide cada uno de sus elementos por el valor P, obteniéndose de esta manera una media aritmética, la cual representa el juicio promedio. Se asume que los P campesinos son racionales y lógicos en su juicio. Así la matriz de valores subjetivos total (VST), se determina mediante el arreglo matricial (3).

$$VST = \sum_{p=1}^P VS^p / P = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} X^1_{j+1} & X^1_{j+2} & \dots & X^1_{j+L} \\ X^2_{j+1} & X^2_{j+2} & \dots & X^2_{j+L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X^k_{j+1} & X^k_{j+2} & \dots & X^k_{j+L} \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde:

$$x^k_{j+i} = \frac{\sum_{p=1}^P x^{kp}_{j+i}}{P}$$

- para $k=1, \dots, K$,
- $i=1, \dots, L$ = calificación promedio de los P expertos para la TAA A^k con respecto al atributo subjetivo X_{j+i} .

Combinando la matriz de valores objetivos y la de valores subjetivos total, se construye la matriz de decisión final (MDF) para el problema del proceso de decisión que se está analizando, tal como se ilustra en la matriz (4).

$$MDF = [VO, VST] = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} x^1_{j+1} & \dots & x^1_j & x^1_{j+1} & \dots & x^1_{j+L} \\ x^2_{j+1} & \dots & x^2_j & x^2_{j+1} & \dots & x^2_{j+L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x^k_{j+1} & \dots & x^k_j & x^k_{j+1} & \dots & x^k_{j+L} \end{bmatrix} \quad (4)$$

En el proceso de selección por medio de TOPSIS, las alternativas A^k y atributos X_i se consideran como vectores en el espacio euclidiano y se definen por las ecuaciones (5) y (6). Esta técnica parte del supuesto que existe una alternativa mejor o peor a todas las demás; así, a la alternativa con las mejores y peores características nominales en los atributos se le llama alternativa ideal e anti-ideal, respectivamente, según ecuaciones (7) y (8).

$$A^k = (x_1^k, \dots, x_{j+L}^k) \text{ para } k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^k) \text{ para } i = 1, 2, \dots, j+L \quad (6)$$

$$A^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_{j+L}^+) \quad (7)$$

$$A^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_{j+L}^-) \quad (8)$$

La técnica TOPSIS puede ser resumida de la siguiente manera: Normalizar cada vector X_i de los atributos que son sujetos a evaluación y convertir a TX_i con la ecuación (9).

$$TX_i = X_i / \|X_i\| = (x_1^i / \|X_i\|, \dots, x_n^i / \|X_i\|) \quad (9)$$

Una forma de normalizar los vectores de las alternativas de manera directa es usando las ecuaciones (10), (11) y (12).

$$TA^k = (t^k, \dots, t_n^k) = (x_1^k / \|X_1\|, \dots, x_n^k / \|X_n\|) \quad (10)$$

$$TA^+ = (t^+, \dots, t_n^+) = (x_1^+ / \|X_1\|, \dots, x_n^+ / \|X_n\|) \quad (11)$$

$$TA^- = (t^-, \dots, t_n^-) = (x_1^- / \|X_1\|, \dots, x_n^- / \|X_n\|) \quad (12)$$

donde:

$\|X_n\|$ representa la norma euclidiana del vector (magnitud del vector).

La finalidad de realizar la normalización de atributos es efectuar cálculos con valores adimensionales, y aquellos que se encuentran en la MDF pueden estar expresado en unidades o escalas diferentes.

Calcular con las ecuaciones (13) y (14) las distancias que existen entre puntos representados por cada alternativa con los puntos de la alternativa ideal y anti-ideal.

$$p(A^k, A^+) = \|(w^*(TA^k - TA^+))\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n^* (t_n^k - t_n^+)^2} \quad (13)$$

$$p(A^k, A^-) = \|(w^*(TA^k - TA^-))\| = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n^* (t_n^k - t_n^-)^2} \quad (14)$$

donde:

w = representa la ponderación o importancia que los elementos del GD han proporcionado al atributo en evaluación.

En este modelo, se recomienda emplear la metodología de ponderación utilizado por Parkan y Wu (1999) y Goh *et al.* (1996), donde se solicita al GD que emita sus juicios sobre la importancia que tiene cada uno de los atributos evaluados, mismos que se realizan en escala Likert con valores comprendidos entre uno y nueve, donde el uno representa una

importancia nula y el nueve indica una importancia extrema o esencial. Las calificaciones obtenidas por cada uno de los atributos son promediados según la ecuación (15). El peso o ponderación (w) asignado a cada atributo es el promedio de dicho atributo entre la suma total de los promedios, de acuerdo con la ecuación (16); de esta manera la suma de las ponderaciones asignadas al conjunto de atributos es igual a la unidad, como lo indica la ecuación (17).

$$\bar{O}_i = \frac{\sum_{R=1}^P O_{iR}}{P} \quad \text{Para } i=1, 2, \dots, J+L \quad (15)$$

$$w_i = \frac{\bar{O}_i}{\sum_{i=1}^{J+L} \bar{O}_i} \quad \text{Para } i=1, 2, \dots, J+L \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^{J+L} w_i = 1 \quad \text{Para } i=1, 2, \dots, J+L \quad (17)$$

donde:

O_{iR} = juicio emitido por el experto R para el atributo i

\bar{O}_i = promedio de las asignaciones obtenida por el atributo i

w_i = ponderación para el atributo i

P = número de expertos que emiten su juicio.

Finalmente, ordenar las alternativas de acuerdo a la cercanía y lejanía de puntos de las alternativas a los puntos de la solución ideal o anti-ideal, que están dadas por la ecuación (18). El criterio de selección que se usa en TOPSIS consiste en elegir la alternativa que contenga el menor valor $RC(A^k, A^+)$.

$$RC(A^k, A^+) = \frac{p(A^k, A^+)}{(p(A^k, A^+) + p(A^k, A^-))} \quad (18)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan y discuten los resultados de un caso de estudio realizado en Colima, México, donde un grupo integrado por tres PA que poseen en conjunto 235 ha con sistema de cultivo bajo riego, mismos que desean

adquirir un tractor agrícola nuevo, sin embargo no tienen definido cual elegir, por tal motivo se procede aplicar el modelo descrito en la metodología, el cual integra atributos cuantitativos u objetivos y atributos cualitativos o subjetivos. Para la realización del análisis, primero se estimó la matriz de valores objetivos (VO), (Cuadro 1).

Para la determinación de valores que alcanzan los atributos subjetivos, se solicitó a tres PA que emitieran sus juicios en escala Likert de 1-9, donde uno representa nula presencia del atributo en la alternativa evaluada y 9 la excelencia en el mismo. Los PA emitieron sus juicios sobre cada atributo

y para cada alternativa, estos valores se promediaron para incorporarlos en el análisis, tal como se indica en la matriz (2) y (3). Los valores promedio de los atributos subjetivos se observan en el Cuadro 2.

La matriz de decisión final se generó mediante las matrices de valores objetivos y subjetivos, que está representada en el Cuadro 3 y fue obtenida a través de la matriz (4), mientras que la normalización aparece en el Cuadro 4, con una precisión de cinco cifras significativas y realizadas por medio de las ecuaciones (10), (11) y (12).

Cuadro 1. Matriz de valores objetivos.

Alternativas	Atributos objetivos			
	CI	CM	DH	CR
A ¹	268 000	60 000	9	35 000
A ²	375 000	75 000	7	53 500
A ³	342 000	12 000	8	92 500
A ⁺	268 000	12 000	7	92 500
A ⁻	375 000	75 000	9	35 000

CI= costo inicial; CM= costo de mantenimiento; DH= litros de diesel por hora de servicio; CR= consumo de refacciones.

Cuadro 2. Matriz de valores subjetivos.

Alternativas	Atributos subjetivos		
	SO	FI	SC
A ¹	8.9	8.7	6.8
A ²	8.4	6.5	5.4
A ³	8.4	6.5	5.4
A ⁺	8.9	8.7	7.9
A ⁻	7.1	6.5	5.4

SO= seguridad del operador; FI= facilidad para realizar cambios de implementos; SC= calidad del servicio al cliente por parte del proveedor.

Para la determinación de las ponderaciones asignadas a cada uno de los atributos, se solicitó a integrantes del GD que emitieran su juicio de acuerdo al procedimiento en el Cuadro 5, los promedios se obtuvieron mediante la

expuesto anteriormente. Los valores emitidos se ilustran ecuación (15), las ponderaciones mediante la ecuación (16) y éstos últimos cumplen la condición establecida en la ecuación (17).

Al aplicar la metodología TOPSIS descrita anteriormente, se obtuvieron los datos del Cuadro 6. Las distancias a la alternativa ideal y anti-ideal aparecen en la segunda y tercera columna, de izquierda a derecha, respectivamente, éstas

fueron calculadas por la ecuación (13) y (14). El índice de decisión empleado en TOPSIS, RC, aparece en la cuarta columna y fue estimado de acuerdo a la ecuación (18).

Cuadro 3. Matriz de decisión final.

Alternativas	Atributos						
	CI	CM	DH	CR	SO	FI	SC
A ¹	268 000	60 000	9	3 5 000	8.9	8.7	6.8
A ²	375 000	75 000	7	53 500	7.1	7.5	7.9
A ³	342 000	12 000	8	92 500	8.4	6.5	5.4
A ⁺	268 000	12 000	7	92 500	8.9	8.7	7.9

CI= costo inicial; CM= costo de mantenimiento; DH= litros de diesel por hora de servicio; CR= consumo de refacciones; SS= seguridad del operador; FI= facilidad para realizar cambios de implementos; SC= calidad del servicio al cliente por parte del proveedor.

Cuadro 4. Normalización de los atributos.

Alternativas	Atributos						
	CI	CM	DH	CR	SO	FI	SC
A ¹	0.46694	0.61988	0.64616	0.31127	0.63611	0.65919	0.57925
A ²	0.65337	0.77484	0.50257	0.47580	0.49475	0.56826	0.67296
A ³	0.59588	0.12398	0.57437	0.82264	0.56543	0.49249	0.46000
A ⁺	0.46694	0.12398	0.50257	0.82264	0.49475	0.65919	0.67296
A ⁻	0.65337	0.77484	0.64616	0.31127	0.63611	0.49249	0.46000

CI= costo inicial; CM= costo de mantenimiento; DH= litros de diesel por hora de servicio; CR= consumo de refacciones; SS= seguridad del operador; FI= facilidad para realizar cambios de implementos; SC= calidad del servicio al cliente por parte del proveedor.

Cuadro 5. Ponderación de los criterios.

Experto	Atributos						
	CI	CM	DH	CR	SO	FI	SC
e ₁	9	7	8	8	9	9	9
e ₂	9	4	9	6	8	8	5
e ₃	9	4	5	4	7	8	6
\bar{O}_i	9	5	7.333	6	8	8.333	6.666
w _i	0.1788	0.0993	0.1456	0.1192	0.1589	0.1655	0.1324

CI= costo inicial; CM= costo de mantenimiento; DH= litros de diesel por hora de servicio; CR= consumo de refacciones; SS= seguridad del operador; FI= facilidad para realizar cambios de implementos; SC= calidad del servicio al cliente por parte del proveedor.

Como se puede observar en el Cuadro 6, cada uno de los valores obtenidos tiene un número entre corchetes, el cual corresponde al orden de preferencia según el criterio de evaluación; por ejemplo, si solamente se considera el criterio de elegir la alternativa con la menor distancia a A⁺, se debería de elegir A³, ya que 0.04821 < 0.08501 < 0.08508, es decir, A³ es preferible a A² y ésta a su vez es preferible

a A¹; sin embargo, si consideramos el criterio de elegir la alternativa con la mayor distancia a A⁻, se debería elegir también A³, ya que 0.09076 > 0.04857 > 0.04775, es decir, A³ es preferible a A¹ y ésta a su vez a A²; en contraste, estos criterios de decisión toman en cuenta una sola distancia y se puede observar que existe alteración en los ordenes de preferencia, ya que A² y A³ intercambian sus posiciones.

El criterio RC de TOPSIS considera ambas distancias y en este caso se debe elegir A^3 , ya que $0.34691 < 0.63658 < 0.64034$; es decir, A^3 es preferible a A^1 y ésta a su vez a A^2 .

Cuadro 6. Distancias a A+ y A-.

Alternativas	$p(A^i, A^+)$	$p(A^i, A^-)$	RC (A^i, A^+)
A^1	0.08508[3]	0.04857[2]	0.63658[2]
A^2	0.08501[2]	0.04775[3]	0.64034[3]
A^3	0.04821 [1]	0.09076[1]	0.34691[1]

(A^i, A^+)= distancia de la alternativa A^i a A^+ ; $p(A^i, A^-)$ = distancia de la alternativa A^i a A^- ; RC (A^i, A^+)= criterio de decisión.

CONCLUSIONES

Esta investigación demuestra que la técnica TOPSIS puede ser integrada a modelos para que sean aplicados por productores agrícolas en la selección de tecnología agrícola, quienes desean realizar un análisis en grupo y considerando múltiples atributos en las alternativas que evalúan, los cuales pueden ser cuantitativos y cualitativos; además, el modelo fue considerado como suficiente por el grupo de decisión que lo empleo y en el caso de estudio realizado, la alternativa propuesta por el modelo fue aceptada y considerada como la mejor.

LITERATURA CITADA

Boubekri, N.; Sahoui, M. and Lakrib, C. 1991. Development of an expert system for industrial robot selection. *Computers and Industrial Engineering*. 21:119-127.

Braglia, M. and Gabbrielli, R. 2000. Dimensional analysis for investment selection in industrial robots. *International Journal of Production Research*. 38(18):4843-3448.

Camarena, E. A.; Gracia, C. and Cabrera, J. M. 2004. A mixed integer linear programming machinery selection model for multifarm systems. *Biosystems Engineering*. 87(2):145-154.

Chan, F.; Chan, M.; Mak, K. and Tang, N. 1999. An integrated approach to investment appraisal for advanced manufacturing technology. *Human factors and ergonomics in manufacturing*. 9(1):69-86.

Chan, F.; Chan, M.; Lau, H. and Ip, R. 2001. Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): a literature review. *Integrated Manufacturing Systems*. 12(1):35-47.

Dessureault, S. and Scoble, M. 2000. Capital investment appraisal for the integration of new technology into mining systems. *Trans. Institution of Mining and Metallurgy*. 109:31-40.

Edwards, W. 2001a. Machinery management: estimating farm machinery costs. Iowa State University Extension, No. PM 710.

Edwards, W. 2001b. Machinery management: farm machinery selection. Iowa State University Extension, No. PM 952.

Edwards, W. 2001c. Machinery management: replacement strategies for farm machinery. Iowa State University Extension, No. PM 1860.

Edwards, W. 2001d. Machinery management: acquiring farm machinery services-ownership, customer hire, rental leasing. Iowa State University Extension, No. PM 787.

Edwards, W. 2001e. Machinery management: transferring ownership of farm machinery. Iowa State University Extension, No. PM 1450.

Elhorst, J. P. 1993. The estimation of investment equations at the farm level. *European Review of Agricultural Economics*. 20(2):167-182.

García, J. L.; Noriega, S.; Díaz, J. J.; Rodríguez, M. y Piña, M. 2005a. Modelo multicriterio para la justificación de inversiones en robots. *Rev. CULCyT*. 2(7):25-34.

García, J. L.; Noriega, S.; Díaz, J. J y Sánchez, J. 2005b. Evaluación y justificación de robots: una metodología multicriterio. *Rev. Aportes*. 10(30):123-134.

Goh, C.; Chin, Y.; Tung, A. and Chen, C. 1996. A revised weighted sum decision model for robot selection. *Computers Industrial Engineering*. 30(2):193-199.

Imany, M. and Schlesinger, R. 1989. Decision models for robot selection: a comparison of ordinary least squares and linear goal programming methods. *Decision Sciences*. 20:40-53.

Knott, K. and Gretto, R. 1982. A model for evaluating alternative robot systems under uncertainty. *International Journal of Production Research*. 20:155-165.

Lal, H. J.; Jones, W.; Pearl, R. M. and Shoup, W. D. 1992. FARMSYS - A whole-farm machinery management decision support system. *Agricultural Systems*. 38(3):257-273.

- Latruffe, L. 2005. The impact of credit market imperfections on farm investment in Poland. *Post-Communist Economies*. 17(3):349 - 362.
- Lazzari, M. and Mazzetto, F. 1996. A PC model for selecting multicropping farm machinery systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 14(1):43-59.
- Offodile, O.; Lambert, B. and Dudek, R. 1987. Development of a computer aided robot selection procedure (CARSF). *International Journal of Production Research*. 25:1109-1121.
- Parkan, C. and Wu, L. 1999. Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection. *Computers & Industrial Engineering*. 36(3):503-523.
- Russel, N. P.; Milligan, R. A. and LaDue, E. L. 1983. A stochastic simulation model for evaluating forage machinery performance. *Agricultural Systems*. 10(1):39-63.
- Sogaard, H. T. and Sorensen, C. G. 2004. A model for optimal selection of machinery sizes within the farm machinery system. *Biosystems Engineering*. 89(1):13-28.
- Vercammen, J. 2007. Farm bankruptcy risk as a link between direct payments and agricultural investment. *European Review of Agricultural Economics*. 34(4):479-500.
- Wei, C.; Kamrani, A. and Weibe, H. 1992. Animated simulation of the robot process capability. *Computers and Industrial Engineering*. 23:237-240.
- Wiemers, E. and Behan, J. 2004. Farm forestry investment in Ireland under uncertainty. *Economic and Social Review*. 35(3):305-320.
- Yoon, K. 1980. Systems selection by multiple attribute decision making. Ph. D. dissertation, Kansas State University, Manhattan, USA.
- Yusuff, R. M; Kok Poh Yee, K. P. and Hashmi, M. S. J. A. 2001. Preliminary study on the potential use of the analytical hierarchical process (AHP) to predict advanced manufacturing technology (AMT) implementation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 17(5):221-427.