

Una Estrategia de Innovación en Fertilizantes Orgánicos Mediante Lógica Difusa

An Innovation Strategy in Organic Fertilizer by Fuzzy Logic

Miguel David Rojas López¹; Juan David Sánchez Uribe² y Laura Marcela Londoño Vásquez³

Resumen. Las investigaciones previas aplicadas a la industria de los fertilizantes orgánicos se enfocan en solucionar un problema de manejo de sólidos y la generación de valor desde el punto de vista técnico, compostaje, humus, enriquecimiento en composición, sin enfocar los estudios a la estructura del negocio. Esta investigación muestra la implementación de una estructura comercial y conceptual del campo de los fertilizantes, permitiendo ofrecer al mercado un producto con características técnicas, precio y servicio novedosos, generando ventaja competitiva con respecto a los actores y sustitutos del mercado. Mediante la aplicación de lógica difusa se presenta una estrategia innovadora a nivel productivo y comercial, por medio de la aplicación de las técnicas de análisis morfológico y análisis de problemas, las cuales permiten identificar una combinación de características para formular la estrategia que luego es validada por medio de los empresarios del sector.

Palabras clave: Plan estratégico, generación de valor, mercadeo, insumos agrícolas.

Abstract. Previous research applied to industry of organic fertilizers are apply mainly to the solution of solids handling problem and generation of value from the technical standpoint, as composting, humus, enrichment in composition, without focusing the studies to the business structure. This research shows the implementation of a commercial and conceptual structure of the field of fertilizers, allowing offer the market a product with technical characteristics, price and service novel, generating competitive advantage regarding the actors and market substitutes. Through fuzzy logic it presents an innovative strategy at productive and commercial level, through morphological analysis technique and problem analysis, to identify combination of characteristics to formulate the strategy that then is validated through sector entrepreneurs.

Key words: Strategic plan, value creation, marketing, agricultural inputs.

Existen varias maneras de innovar en el negocio de los fertilizantes orgánicos, desde el desarrollo de nuevos productos y procesos hasta la aplicación de técnicas de mercadeo y servicio al cliente (Rousseva, 2008). En las investigaciones realizadas sobre fertilizantes orgánicos, se encuentran diferentes propuestas de generación de valor para la industria, sin embargo, en las aproximaciones teóricas y metodológicas existentes no se evidencian modelos formales para la medición y evaluación, por lo cual se presenta una metodología de evaluación que contribuye a la supervivencia de la industria de los fertilizantes orgánicos.

Se realizó un análisis de la industria de fertilizantes orgánicos en Colombia y una comparación entre los abonos orgánicos y químicos, identificando problemas y necesidades en el área, luego se tomaron herramientas de lógica difusa para el desarrollo y validación de un modelo que permita implementar una propuesta comercial en la industria de fertilizantes. Se analizó el grado de impacto e innovación y se validó la propuesta con empresarios pertenecientes a la industria de

fertilizantes orgánicos y se concluye que la formulación de la estrategia cuenta con alto grado de viabilidad y aceptación del mercado. A continuación se realiza una introducción a la lógica difusa y a los principales elementos utilizados en la investigación.

Lógica difusa (LD). Existen dos tipos de lógica, la clásica y la difusa (Figura 1). El concepto de medición de la innovación no contempla un razonamiento exacto, por lo cual se considera un análisis de la información de tipo difuso, donde se realiza manipulación simbólica y análisis mixto de variables cuantitativas y cualitativas de forma simultánea.

En la actualidad, el control es la principal aplicación de los sistemas difusos, conocidos como "sistemas de control borroso", estos son considerados como una extensión de los sistemas expertos. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas se encuentran en Klir, 1995; Chiou *et al.*, 1999; Karsak y Kuzgunkaya, 2002 y Eisenhard y Martin, 2002. En los sesenta Lofti Zadeh⁴ de la Universidad de Berkeley, definió que un conjunto difuso es caracterizado por

¹ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín – Facultad de Minas – Escuela de Ingeniería de la Organización. Carrera 80 No. 65-223 Núcleo Robledo, Medellín, Colombia. <mdrojas@unal.edu.co>

² Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín – Facultad de Minas – Escuela de Ingeniería de la Organización. Carrera 80 No. 65-223 Núcleo Robledo, Medellín, Colombia. <judsanchezur@unal.edu.co>

³ Profesora de Tiempo Completo. Institución Universitaria Esumer. Calle 76 No. 80-126, carretera al mar, Medellín, Colombia. <laura.londono@esumer.edu.co>

Recibido: Julio 10, 2013; Aceptado: Marzo 5, 2014.

doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47829>



la asignación de una función de pertenencia de los elementos de un dominio, el espacio o universo X al intervalo $[0,1]$, esto es: $A: X \rightarrow [0,1]$, los denominados conjuntos borrosos, cuya característica esencial es que, a diferencia de los conjuntos booleanos clásicos, es decir, una variable verdadera o falsa, la propiedad de pertenencia de un elemento a un determinado conjunto, se describe por una función que varía continuamente

entre 0 y 1, llamada función de pertenencia FP que puede interpretarse como el grado en que el elemento particular cumple con las especificaciones que definen los elementos del conjunto en cuestión y no como la probabilidad de pertenencia.

Esta propuesta emplea tres conceptos de lógica difusa. El primero es Difuminado, el segundo es Regla Difusa,

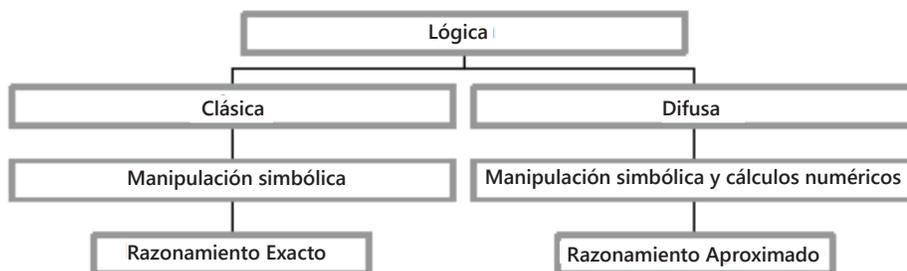


Figura 1. Tipos de Lógica.

pues los algoritmos neurodifusos implementados arrojan como resultados este tipo de reglas y el tercero es el de Operador Condicional.

Difuminado. El ejemplo en el que se puede observar una imprecisión de la lógica convencional se presenta al determinar cuándo la temperatura ambiente en un lugar es alta. Desde la lógica convencional se define un

umbral que es de 30 °C (Figura 2), de manera que a los 30 °C o más, se afirma que “la temperatura ambiente es alta”; y para 29 °C o menos se afirma que “la temperatura ambiente no es alta”. Así, usando la lógica bivalente se tendría que la temperatura ambiente a 30 °C es alta, pero a 29.999 °C no lo es. Este razonamiento desde la lógica convencional no se parece a la manera de pensar del ser humano, para quien el umbral de 30 °C no está

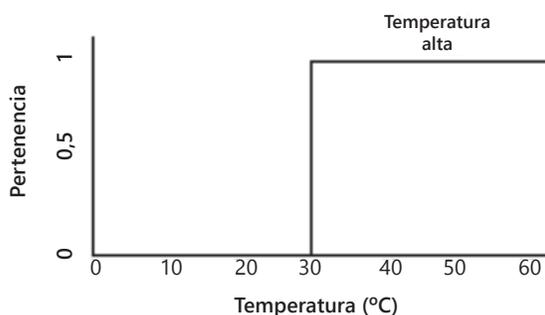


Figura 2. Ejemplo de lógica convencional (Kosko, 1995).

definido de una manera estricta: es un umbral difuso (Figura 3). Para un ser humano es claro que a los 40 ó 50 °C hace calor y que entre los 0 y 10 °C no hace calor; sin embargo, a los 30, 29 ó 28 °C no es claro: una persona podría decir que hace calor y otra que no. En

estos casos no se puede afirmar si una temperatura es alta, media o baja.

En las Figuras 2 y 3 se observa que para distinguir si una temperatura es alta o no, se emplea una función, que en el caso de la Figura 2 es un escalón y en el caso de la Figura 3 es una función lineal trapezoidal. Dichas funciones son llamadas funciones de membresía; con éstas se realiza un procedimiento conocido como

⁴ Profesor de la Universidad de Berkeley que en 1965 introdujo la teoría de conjuntos difusos o lógica difusa. Zadeh, L. 1965. "Fuzzy Sets". Information and Control, 8, pp. 338-353.

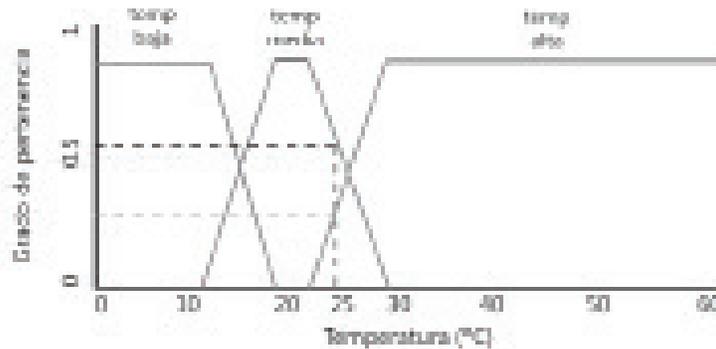


Figura 3. Lógica difusa empleada para temperaturas (Kosko, 1995).

emborronamiento o fusificación, mediante el cual se convierte una variable que puede ser real, como la temperatura, en una variable difusa, de acuerdo a qué tanto pertenece a un conjunto. En la Figura 3, se observa que la temperatura 25 °C pertenece aproximadamente en 0,3 al conjunto de las temperaturas altas, pertenece en 0,6 al conjunto de las temperaturas medias y en 0.0 pertenece al conjunto de las temperaturas bajas, mientras que si se observa en la Figura 2, se podría tener la certeza de que una temperatura de 25 °C no pertenece al conjunto de temperaturas altas.

Reglas difusas. Una regla difusa es una regla de la forma SI... ENTONCES... que puede ser cierta con un grado de certidumbre determinado. Constan de dos partes principales: un antecedente y un consecuente separados por la palabra ENTONCES, que representa un condicional así:

SI (Antecedente) ENTONCES (Consecuente)

El antecedente puede estar dividido en varios predicados separados por una conjunción (Y) así:

$$\text{Antecedente} = (\text{Predicado}_1 \text{ Y Predicado}_2 \text{ Y ... Y Predicado}_n) \quad (1)$$

En la teoría de conjuntos, el álgebra booleana y la lógica tradicional son isomorfas, bajo transformaciones adecuadas. Esto significa que tienen una estructura subyacente similar, y que las definiciones que se hacen en cualquiera de las tres teorías se pueden llevar a las otras dos, mediante transformaciones adecuadas (Klir, 1995).

La LD emplea matemáticamente operadores de unión como **Y** e intersección como **O** y realiza el mismo análisis matemático que en la lógica clásica; en la Figura 4, se representan gráficamente las diferencias de los operadores en lógica clásica y lógica difusa. Algunos tipos de reglas difusas son:

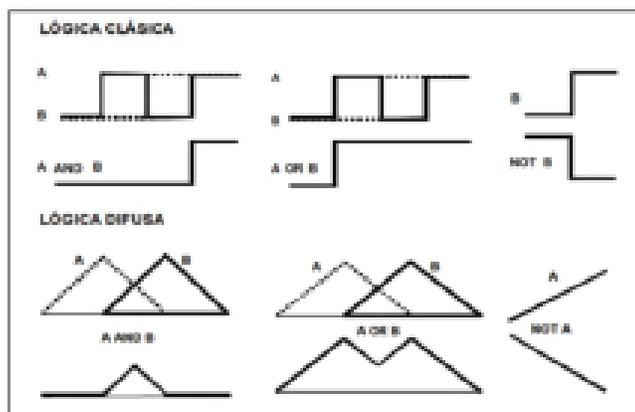


Figura 4. Operadores Y, O y No, según la lógica clásica y la LD (Wang *et al.*, 1992; Kosko, 1995 y Klir, 1995).

Tipo Zadeh-Mamdani. Se definen las variables lingüísticas con sus respectivas etiquetas o valores lingüísticos. Para cada etiqueta lingüística se define la función de pertenencia respectiva. Si se cuentan solamente dos variables lingüísticas X y Y, entonces para los valores de entrada x e y se buscan las funciones de pertenencia que los contienen, sobre las cuales se

hace el producto y aplicando el criterio de tomar el mínimo en cada relación, valor que se identifica en los conjuntos difusos asociados con la conclusión del sistema de reglas. Finalmente, se hace la agregación a partir de los máximos valores sobre estas funciones de pertenencia para obtener un área de salida (concreción) como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Taxonomía empleada en lógica difusa (Aguirre, 2010 adaptado de Medina, 2006).

En el sistema tipo Mamdani, utilizado en la solución del problema en consideración, se distinguen las siguientes partes:

- Módulo de difuminado
- Difusor
- Mecanismo de inferencia
- Base de reglas difusas
- Módulo de concreción

Donde se emplean reglas del tipo:

Si 1 x es 1 A , 2 x es 2 A , ..., n x es n A entonces y es B(2)

Tipo Takagi-Sugeno. Este tipo de Reglas son empleadas principalmente para labores de interpolación o aproximación funcional, son del tipo:

Si 1 x es 1 A , 2 x es 2 A , ..., xn es An entonces (,) 1 2

$$n y = f x x x \quad (3)$$

Operador condicional. Así como los conceptos de pertenencia difusa son similares a los de su contraparte de la lógica convencional (o booleanas o bivalente), los operadores definidos para los conjuntos difusos también son similares a las tablas de verdad definidas desde la lógica de Boole (Figura 6).

<p>Unión: $A \cup B$ $(x) \cup (x) = \max \{ (x), (x) \}$ $A \cup B = \max \{ m_A, m_B \}$</p> <p>Intersección: $A \cap B$ $(x) \cap (x) = \min \{ (x), (x) \}$ $A \cap B = \min \{ m_A, m_B \}$</p> <p>Igualdad: $A = B$ $A = B$ sii $(x) \cup (x) = (x) \cap (x)$</p> <p>Complemento: A $(x) \cup (x) = 1$ $A \cup A^c = 1$</p> <p>Pertenencia: $A \in B$ $A \in B$ sii $(x) \cap (x) = (x)$</p>

Figura 6. Opción para operaciones de conjuntos difusos (Wang et al., 1992).

La industria de fertilizantes en Colombia. La clasificación existente de los fertilizantes puede darse principalmente por los siguientes aspectos:

- Fuente del material (orgánico o inorgánico).
- Tipo de elementos químicos contenidos (mayores, secundarios y micronutrientes).

- Cantidad de elementos químicos contenidos (fertilizantes simples o compuestos).
- Tipo de aplicación: edáfica (directa al suelo) o foliar.

En la Tabla 1 se observa la producción y venta de insumos orgánicos realizada durante el año 2008 en Colombia según los registros estadísticos del ICA. Los

Tabla 1. Producción y venta de fertilizantes en Colombia durante el año 2008.

Fuente	Producción (t)	Ventas (t)
Fertilizantes Orgánicos	67.091	66.437
Fertilizantes Qcos NPK	1.404.745	15.294
Otros (Enmiendas, Foliares, Menores, Fertirriegos)	129.777	153.936

Cartilla Comercialización de Fertilizantes ICA (2008).

resultados departamentales mostrados por la Encuesta Nacional Agropecuaria, 2009, (Ministerio de Agricultura y Desarrollo de Colombia, 2009), permiten afirmar que la producción agrícola se concentra en las zonas montañosas y valles interandinos del país, mientras que las actividades pecuarias se distribuyen a lo largo y ancho del territorio nacional. Según estos datos, y teniendo en cuenta que los consumos de fertilizantes químicos NPK promedio es de 700 kilos/hectárea/año y de materia orgánica es de 2.500 kilos/hectárea/año, se tendría una demanda potencial alrededor de 214.886 t/año de fertilizantes químicos NPK y de 767.450 t/año de fertilizantes orgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia innovadora para la industria de los fertilizantes orgánicos. Después de conocer el mercado de los fertilizantes en Colombia, se toman como base los modelos teóricos de lógica difusa, propuestos anteriormente, para realizar el diseño y desarrollo de la estrategia innovadora que se desea implementar en el estudio y establecer las estrategias que permitan atender demandas específicas, es decir, definir de forma clara y oportuna los caminos a seguir para participar en la preparación del mercado objetivo.

Para encontrar las principales fortalezas del nuevo producto, se evaluaron los requerimientos que debería tener para la satisfacción de los clientes. Para esto, se realizó una búsqueda en la literatura sobre las fortalezas y debilidades de cada tipo de fertilizante, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 2.

La técnica utilizada para la generación de la idea del diseño del nuevo producto se fundamenta en la combinación de las metodologías propuestas por: técnica de relación de atributos, análisis morfológicos, identificación de necesidades y problemas (Schroder, 2005; Leiro, 2006).

A continuación se utilizaron dos técnicas, análisis morfológicos e identificación de problemas y necesidades, para determinar los requerimientos estructurales y del consumidor.

Técnica de relación de atributos y análisis morfológico.

Con ésta técnica se busca identificar las dimensiones estructurales del problema y el examen de las relaciones entre ellos, para encontrar alguna combinación novedosa. Al analizar las ventajas y desventajas de los abonos orgánicos y químicos se observa que los principales factores a potencializar en los abonos orgánicos son:

- Bajo contenido de macronutrientes NPK y micronutrientes.
- Lenta asimilación de los nutrientes.
- Presentación en polvo.

Técnica de identificación de problemas y necesidades.

Para la aplicación de esta técnica se realizaron entrevistas a seis gerentes de mercadeo pertenecientes a empresas de fertilizantes antioqueñas y se les solicitó calificar en orden de importancia para sus clientes los siguientes aspectos: composición nutricional del producto, precio, marca, presentación, asistencia y servicio, con el objetivo de conocer los requerimientos del consumidor. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2. Características de abonos orgánicos y químicos.

FACTOR	ABONOS ORGÁNICOS	ABONOS QUÍMICOS
PRODUCTIVIDAD DEL SUELO (Wierer y Aboot, 1978; Manual de Fertilizantes, 1993; Fuentes, 1994; Castillo, 1998; Orozco y Muñoz, 2012; Aguilera <i>et al.</i> , 2013; Maltas <i>et al.</i> , 2013)	Incrementa con el tiempo, aporta flora microbiana benéfica para el desarrollo de microorganismos, mejorando el humus y el rendimiento. Mejoran las propiedades químicas de los suelos y satisfacen las necesidades de materia orgánica. Su no utilización puede causar una disminución en el rendimiento del cultivo.	Disminuye con el tiempo pues la pérdida de humus debido al aumento de la acidez y salinidad, impacta negativamente la productividad del suelo.
PRECIO (Wierer y Aboot, 1978; Fuentes, 1994)	Estable, ya que la materia prima utilizada proviene de fuentes renovables. El precio es aproximadamente un 80% menor que el químico.	Inestable. Depende de combustibles fósiles (Nitrógeno) y minería (Fosforo y Potasio). Esto conlleva a un precio inflacionario a medida que la oferta de estas fuentes no renovables disminuye.
SALUD Y FORTALEZA (Wierer y Aboot, 1978; Manual de Fertilizantes, 1993; Fuentes, 1994; Castillo, 1998; Fink, 1998; Aguilera <i>et al.</i> , 2013).	Mejora el ecosistema del suelo, desarrollando plantas más resistentes y saludables. Mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros los suelos arcillosos y más compactos los arenosos. Mejora la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste. Disminuyen la erosión del suelo, del agua y del viento. El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura. Sin embargo hay potencial de contaminación con metales pesados y otras sustancias tóxicas.	Eliminan el ecosistema natural del suelo, desarrollando plantas vulnerables a plagas y enfermedades. Los niveles de acidez y salinidad causan desequilibrio y matan los microorganismos que viven en él. Reduce la colonización de raíces y la tierra es menos resistente a sequías, altas temperaturas, toxinas, altos niveles de pH y protección contra patógenos de la raíz. El uso excesivo puede destruir la composición del suelo.
NUTRIENTES (Wierer y Aboot, 1978; Manual de Fertilizantes, 1993; Fuentes, 1994; Castillo, 1998; Orozco y Muñoz, 2012; Maltas <i>et al.</i> , 2013).	Baja cantidad de contenidos en NPK. Posee también minerales y micronutrientes (en bajas cantidades). Sus altos niveles de mineralización facilitan la absorción de elementos hacia la planta que de otra manera serían inasequibles. Incrementan el pH y el porcentaje de MO. Su mayor desventaja es la lenta asimilación de los nutrientes NPK. En general, su aplicación conduce a un aumento en el Carbono Orgánico del suelo y el contenido de N total.	Alta cantidad de contenidos NPK. Pocas veces es enriquecido con micro elementos, lo cual disminuye la diversidad del suelo. Bajos niveles de mineralización, lo cual no ayuda a la planta a descomponer los elementos nutritivos presentes en la materia orgánica dificultando su acceso y absorción. Ventaja es la rápida asimilación de los nutrientes NPK. A menudo producen efectos contradictorios sobre el contenido de Carbono Orgánico del suelo.
RIESGOS DE APLICACIÓN	No hay riesgo de una sobre aplicación siempre y cuando sea compostado.	Tóxico en altas dosis
DESPERDICIO (Manual de Fertilizantes, 1993)	La planta absorbe al 100% los nutrientes. Los elementos que no sean asimilados inmediatamente son almacenados en la tierra hasta que la planta los necesite. No existe desperdicio de producto.	Altos niveles de desperdicio a nivel de absorción de los nutrientes. Antes que la planta tenga tiempo de absorberlos, sus componentes se evaporan y escapan rápidamente. A nivel de desperdicios físicos, su presentación granulada permite disminuir pérdidas físicas.
PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO (Wierer y Aboot, 1978; Manual de Fertilizantes, 1993; Fuentes, 1994; Castillo, 1998)	Polvo. Este tipo de presentación genera muchas pérdidas físicas, además que no es muy apetecido por el agricultor ya que le ocasiona problemas de salud. También ocasiona dificultades al momento de realizar mezclas físicas con otros productos de origen mineral o químico, ya que tiende a sedimentarse, lo cual no garantiza una mezcla homogénea.	Granulado. Se disminuyen las pérdidas físicas, su aspecto es mucho más agradable y confiable. Ideal para mezclas físicas.

Tabla 3. Resultados encuesta a empresarios del efecto de fertilizantes en Antioquia.

Nivel de importancia	Gerente 1	Gerente 2	Gerente 3	Gerente 4	Gerente 5	Gerente 6
1	Precio	Marca	Precio	Precio	Precio	Marca
2	Composición	Precio	Presentación	Composición	Composición	Precio
3	Marca	Asistencia	Marca	Presentación	Marca	Composición
4	Asistencia	Composición	Asistencia	Marca	Presentación	Presentación
5	Presentación	Presentación	Composición	Asistencia	Asistencia	Asistencia

Instrumento de medición

Categorías de innovación a considerar. Una vez analizada la industria de los fertilizantes en Colombia y determinados los requerimientos estructurales y del

consumidor, se desarrolló una propuesta metodológica enfocada en el análisis de cuatro parámetros claves para la implementación y desarrollo de cualquier tipo de estrategia de generación de valor como se observa en la Figura 7.

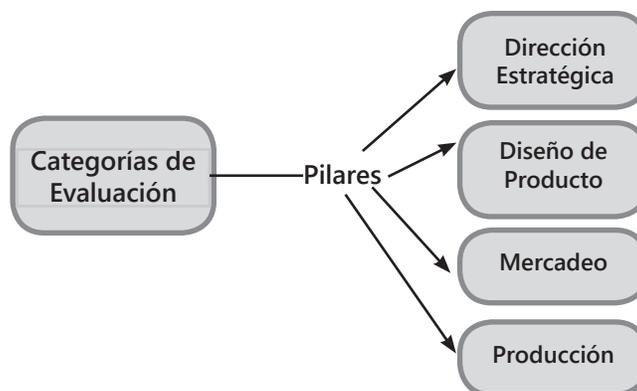


Figura 7. Categorías de la evaluación, implementación y desarrollo de la estrategia de generación de valor.

- **Dirección estratégica.** Entre las variables que miden la capacidad de dirección estratégica se encuentran aquellas asociadas a la estrategia de innovación, al dominio de técnicas de análisis prospectivo y estratégico de la tecnología, a la cultura y los valores de la organización, y al estilo de gerencia. (Guan y Ma, 2003; Burgelman *et al.*, 2004).
- **Producción.** Guan y Ma (2003) y Yam *et al.* (2004) definen esta capacidad como la habilidad de la empresa para transformar los resultados de investigación y desarrollo en productos que satisfagan los requerimientos del mercado, integrando los requisitos del diseño y las limitaciones y posibilidades del sistema de manufactura disponible para la empresa.
- **Mercadeo.** Según Yam *et al.* (2004) y Guan y Ma (2003), esta capacidad representa la habilidad de la firma para publicitar y vender productos con base en la comprensión de las necesidades del mercado presentes y futuras, el ambiente competitivo, los costos y beneficios y la aceptación de la innovación.
- **Diseño de producto.** Yam *et al.* (2004) y Wang *et al.* (2008) se refieren a esta capacidad como a la habilidad de la firma para desarrollar y asignar apropiadamente capital, experiencia y tecnología al desarrollo de productos nuevos.

Elección de una métrica. Evaluando aspectos positivos y negativos de los planteamientos cuantitativos y cualitativos, teniendo en cuenta las limitaciones de tiempo y recursos, se elige como mayoría aspectos cualitativos para el análisis actual, solicitando al

entrevistado calificar su valoración personal con relación a cada aspecto, algunas variables referidas a datos generales de la empresa eran cualitativas y se utiliza la escala de Likert con valores comprendidos de 1 a 5. En la Tabla 4 se observan estos valores de referencia (VR).

Tabla 4. Valores de referencia (VR).

Proposición	VR	Descripción
En esta compañía nunca se ha hecho referencia a los términos que componen el enunciado	1	Fuertemente en desacuerdo
En esta empresa no existe alguien dedicado a lo que se enuncia		(Bajo)
No existe información coherente para sustentar la respuesta		
Se han hecho evaluaciones y análisis formales que definitivamente indican que en esta empresa la afirmación enunciada no se cumple en lo absoluto.	3	No sé con certeza
Se conoce la terminología del enunciado.		(Medio)
Se sabe a qué área de la compañía le compete el enunciado.	5	Si, totalmente de acuerdo
Se conoce o se sabe quién es la persona que dirige y lidera esa área.		(Alto)
El tema se ha tratado en algunas reuniones y más o menos se sabe que algo hay sobre la afirmación del enunciado pero nada concreto.		
Se tiende a pensar que definitivamente sí se argumenta dando el juicio en la experiencia que se tiene en ese tópico en particular.		
Se tiene la información actualizada para sustentar el que si se está de acuerdo totalmente con la afirmación.		

Espacio muestral. El estudio es una herramienta para medir la aceptación y grado de pertinencia de la estrategia propuesta del sector de fertilizantes y los expertos recomiendan la aplicación de esta técnica a partir de un tamaño muestral superior a 100, con un número de observaciones al menos cinco veces superior al número de variables a analizar, se circunscribe en principio la representatividad de los resultados a las empresas que componen la muestra (Grundey y Heeks, 1998).

Algunas de las conclusiones y resultados son extensivos con prudencia a la totalidad de la población objetivo, formada por las compañías del sector de fertilizantes en el departamento de Antioquia, ya que este mercado está focalizado en 10 empresas (ICA, 2008).

Instrumento de aplicación. La validación conceptual se soporta en el uso de un cuestionario que se aplica a empresarios del sector, el cual se hizo a partir del modelo y se califica a partir de la escala de Likert

con cinco valores de respuesta. No se aplicaron encuestas, se hicieron entrevistas en profundidad a personas en cargos estratégicos y responsabilidades frente a diferentes capacidades, de acuerdo a la estructura organizacional de la empresa. El perfil del entrevistado se resume en la Tabla 5.

Definición de los modelos lingüísticos (ML) de las variables de entrada y salida. Una vez definido el instrumento de aplicación, se definen los modelos triangulares, LM1, LM2, LM3, LM4 que dependen del grado de incertidumbre asociado a cada variable según el resultado ponderado obtenido en la encuesta, de esta forma, el modelo LM1 presentado en la Figura 8a es aplicado a la variable Dirección Estratégica, el modelo LM2 (Figura 8 b) es para la variable Diseño de Productos; el modelo LM3 (Figura 8 c) corresponde a la variable Mercadeo, el modelo LM4 (Figura 8 d) pertenece a la variable Producción y finalmente el modelo LM_Out (Figura 9) es para la variable de Salida.

Tabla 5. Criterios, pesos y perfiles de empresarios entrevistado del sector de fertilizantes del departamento de Antioquia.

	Estrategia propuesta	Peso
Perfil del entrevistado	1 = Compras y logística 2 = Planta y producción 3 = Servicio técnico 4 = Investigación y desarrollo 5 = Gerencia dirección	20
	1 = Operativo 2 = Administrativo 3 = Profesional 4 = Ejecutivo 5 = Directivo	30
	1 = 0 - 2 años 2 = 3 - 5 años 3 = 6 - 9 años 4 = 10 - 15 años 5 = 16 años ó más	20
	1 = Técnico 2 = Tecnólogo 3 = Profesional 4 = Especialización 5 = Maestría o Doctorado	30

Para los modelos LM1, LM2, LM3 y LM_Out los criterios son evaluados como Bajo (B), Medio (M), Alto (A), la evaluación depende de la capacidad de innovación y de su grado de importancia.

Bases de conocimiento. Las bases del conocimiento se construyeron con los expertos seleccionados, de acuerdo al proceso de *scoring* propuesto por Medina (2010), el cual permite identificar la calificación o impacto de las variables de entrada y sus conjuntos difusos respecto a la variable de salida. Éste permite por medio de algoritmos, desarrollar de forma exacta la base del conocimiento. La matriz debe complementarse a través de una serie de procedimientos realizados con los expertos por medio de entrevistas o mesas redondas. Luego de desarrollar este procedimiento con cada uno de los miembros entrevistados, se obtiene información con respecto a la validación de los criterios a utilizar.

Programación con lógica difusa. La lógica difusa tipo Mamdani es una herramienta que permite hacer una transformación y proporciona una visión diferente a la

otorgada por la lógica clásica (Zadeh y Bellman, 1970). Por lo anterior, se realizó la programación con técnicas de éste tipo y para el análisis de la información se utilizó la herramienta FuzzyTech 5.52f Profesional Demo (versión académica).

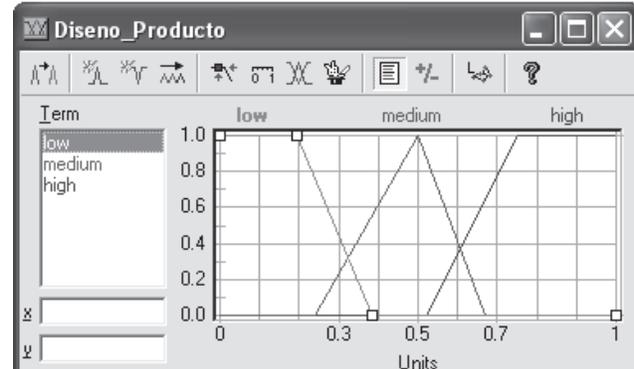
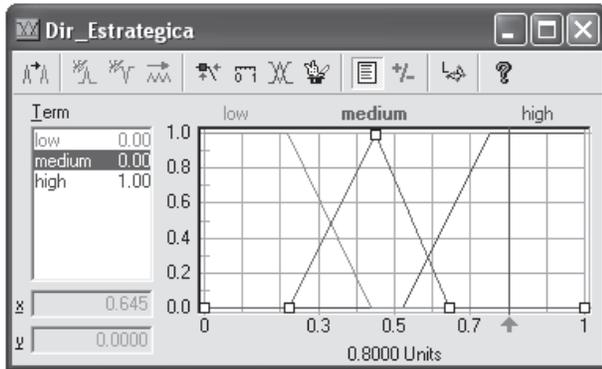
Esta herramienta proporciona diversos tipos de razonamientos, dependiendo de los modelos lingüísticos de entrada, los mecanismos de inferencia y bases de conocimiento, permitiendo establecer las variables que componen los conjuntos difusos, crear reglas difusas y además, proporciona un conjunto de métodos de difuminado y concreción.

Se realizó la programación en *FuzzyTech*® con las variables a evaluar. Dónde se tienen las siguientes variables de entrada:

- La dirección estratégica
- Diseño de producto
- Mercadeo
- Producción

Min	Promedio	Max
0	0,22	0,4398
0,23	0,449	0,6681
0,58	0,79	1

Min	Promedio	Max
0	1,56	3,1195
0,24	0,456	0,6672
0,52	0,76	1

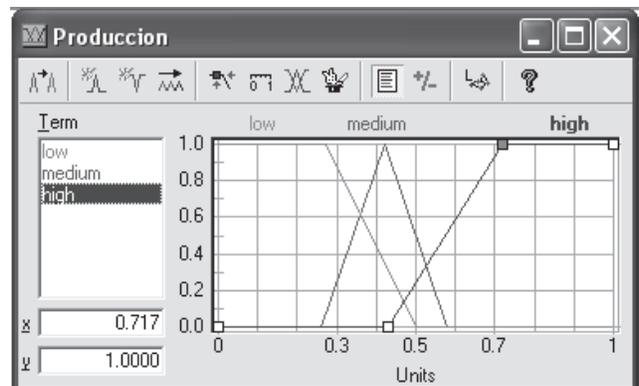
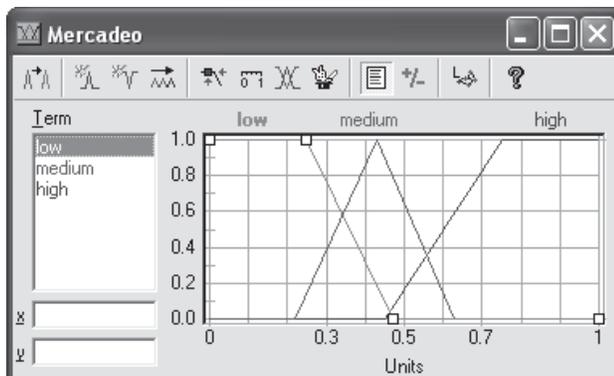


a)

b)

Min	Promedio	Max
0	0,239	0,4782
0,22	0,43	0,6348
0,45	0,727	1

Min	Promedio	Max
0	0,272	0,5439
0,26	0,42	0,5831
0,43	0,717	1



c)

d)

Figura 8 Modelo lingüístico de entrada: **a)** LM1en fuzzyTECH 5.2 proffesional demo aplicado a la variable Dirección Estratégica; **b)** LM2 LM1en fuzzyTECH 5.2 proffesional demo aplicado a la variable Diseño de Productos; **c)** Entrada LM3 LM1en fuzzyTECH 5.2 proffesional demo aplicado a la variable Mercadeo; **d)** LM4 LM1en fuzzyTECH 5.2 proffesional demo aplicado a la variable Producción.

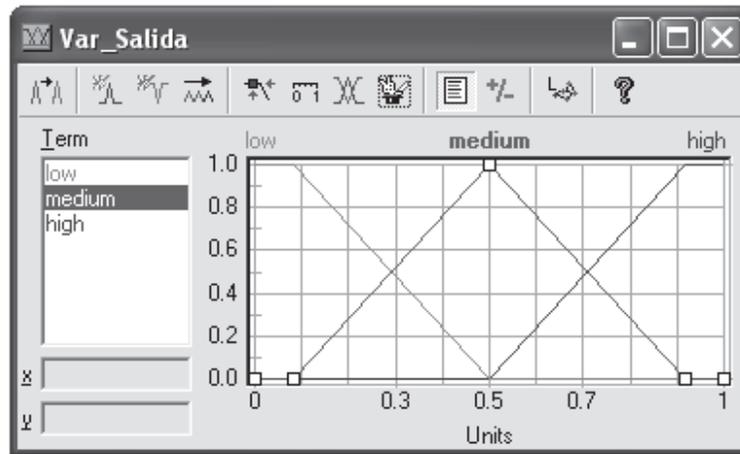


Figura 9. Modelo Lingüístico de Salida LM_Out LM1 en fuzzyTECH 5.52 profesional demo aplicado a la variable de Salida.

Después del análisis difuso se obtiene la variable de salida, la cual indica el grado de aceptación o el impacto de la propuesta como se muestra en la Figura 10.

Bloques operadores de inferencia. Son aquellos donde se incorporan las reglas de operación, las bases de conocimiento y los procesos de difuminado y concreción, la programación de ellos se realizó con agregación difusa del tipo Mamdani como se especificó anteriormente. La programación en el software corresponde a operadores *Min*, y los resultados de la agregación corresponden al Método *Max*.

Luego de realizar el razonamiento difuso se obtiene un valor entre 0 – 1, para la variable de salida que corresponde al impacto de la estrategia, información basada en el modelo LM_Out. Además, se ingresan los valores obtenidos en la base de conocimiento a la programación.

Validación conceptual. Una vez elaborada la propuesta de modelo, es necesaria la validación del mismo, de esta manera un modelo conceptual es la representación abstracta de un sistema real, el cual permite estudiar, predecir o explicar un fenómeno, proceso o metodología con un grado de precisión determinado (Camagni, 1991).



Figura 10. Estructura para medir el impacto de la estrategia.

Es necesario realizar un proceso de validación, para afinar si la implementación de la propuesta en la industria de fertilizantes, se seleccionó de forma correcta, así como los criterios para que sean evaluada.

El proceso de validación del modelo continúa en las etapas de implementación y posterior aplicación del mismo. El proceso de validación de este modelo se realiza en las siguientes fases:

1. Diseño del instrumento de aplicación donde se observan diferentes componentes, administrativa, modelación, relacional y métrica.
 2. Etapa de validación preliminar, previa a la aplicación del mismo, prueba de escritorio.
 3. Ajustes tras la validación preliminar del instrumento.
 4. Aplicación de piloto y ajustes.
 5. Validación continua, se realimentará con las aplicaciones del modelo. Usualmente la validación se consigue por medio de un proceso iterativo de comparación del comportamiento del modelo con el sistema real y su representación.
- **Documentación sobre el modelo:** Previo a la reunión, los expertos reciben la documentación del modelo, que evidencia la construcción del mismo.
 - **Simulación con el experto:** Los integrantes aplican en forma real para cada uno de los contextos, en este caso, la necesidad de evaluar capacidades organizacionales para la innovación en una compañía, identificando fortalezas y debilidades.
 - **Cuestionario de validación:** Identificar relaciones, fallas o puntos a mejorar con el grupo a partir de la aplicación del cuestionario.

Face validation o prueba de escritorio. El modelo diseñado en esta investigación fue verificado mediante la técnica de *Face Validation*, fundamentada en el monitoreo hecho sobre los resultados del instrumento.

La *Face Validation* es particularmente usada en las etapas iniciales del desarrollo de un modelo (Molero y Buesa, 1996). La técnica usa la opinión de expertos para evaluar el impacto de la estrategia, pero es de aclarar que es un método no formal, con la funcionalidad para detectar errores e inconsistencias.

Para hacer la respectiva validación se requiere de los siguientes pasos según Molero y Buesa (1996):

- **Consecución de expertos:** Convocar un grupo de empresarios, o ejecutivos de una organización, en este caso, el jefe de calidad de empresa manufacturera.

Los expertos consultados introducen diferencias según la forma de calificar, afectando los resultados consensuados, para lo cual, se aplicó el método *Delphi*, donde se calcula la media y la varianza de cada una de las actividades calificadas y ordenadas de mayor a menor, las desviaciones correspondientes y sus coeficientes de variación en cada una de las actividades que fueron calificadas por los expertos. Adicionalmente se desarrollaron otros tipos de validaciones, como de contenido y criterio, de base de conocimiento, predictiva y confiabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores que se ingresaron a la programación, dependen del valor obtenido según las encuestas con los empresarios, la variable de salida se obtiene después de hacer el proceso de difuminado donde los resultados obtenidos se observan en la Figura 11.

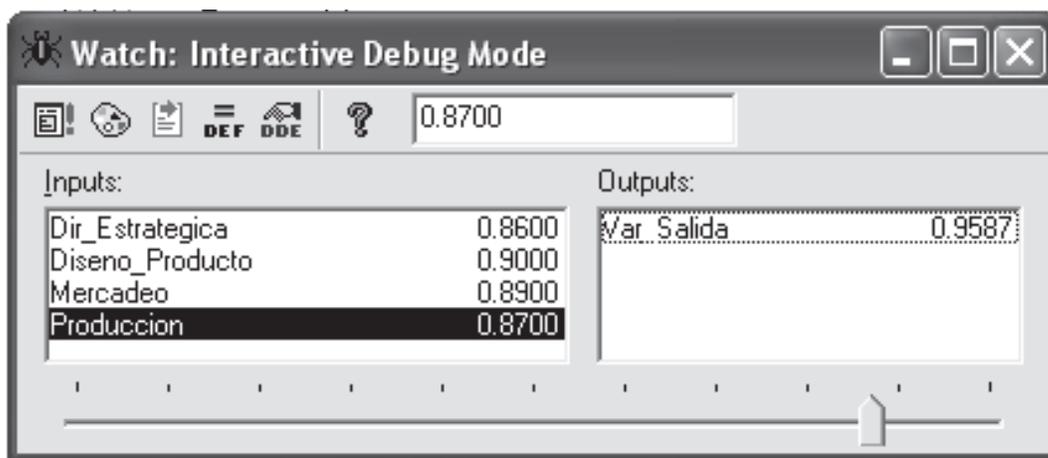


Figura 11. Variable de salida obtenida con los datos de los empresarios del sector de comercialización de fertilizantes en Antioquia.

En la Tabla 6 se observa el valor de cada una de las variables de entrada:

En la Figura 12 se muestra el radar resumen sobre los resultados obtenidos de acuerdo a los datos suministrados por los empresarios. Según el valor

obtenido para la variable de salida que corresponde a 0,96 demuestra que la estrategia se encuentra en un grado de aceptación e impacto alto. Lo anterior explica que de acuerdo a las variables analizadas (Dirección estratégica, Diseño de producto, Mercadeo y Producción), la estrategia impacta positivamente

Tabla 6. Resultados obtenidos en cada una de las variables de entrada.

Resumen	Valor	Normal
Variable de salida	4,79	0,96
Dirección estratégica	4,32	0,86
Diseño producto	4,49	0,90
Mercadeo	4,46	0,89
Producción	4,33	0,87

cada una de ellas, demostrando la integralidad de la innovación y dando respuesta a la hipótesis inicial sobre la posibilidad de implementar una propuesta innovadora en el sector de los fertilizantes que sea adaptable a las necesidades de los empresarios antioqueños.

En las Figuras 13, 14, 15 y 16 se muestran los radares correspondientes a los resultados obtenidos para el análisis de cada una de las variables.

Como se observa en los resultados, los radares se comportan de forma estable indicando impactos

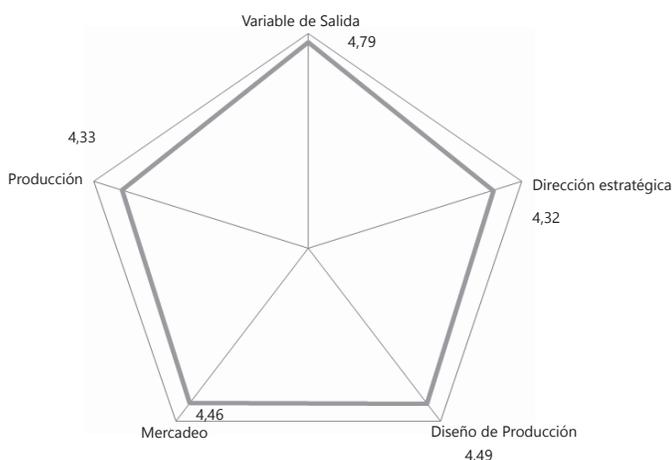


Figura 12. Radar de Impacto.

positivos para cada una de las variables, explicando que la estrategia de innovación de valor propuesta en el actual estudio cumple con el objetivo de lograr un salto cualitativo en el valor para los clientes potenciales y para las organizaciones.

El estudio demuestra que es necesario evaluar de forma efectiva el impacto de toda estrategia, aunque teóricamente cumpla con los procedimientos académicos, no siempre se garantiza que realizar la implementación práctica

tenga el mismo impacto. Debido a lo anterior se buscó por medio de lógica difusa la evaluación del impacto de la estrategia implementada, teniendo como base los conceptos y experiencias de los empresarios antioqueños pertenecientes al sector de los fertilizantes, permitiendo conocer con exactitud marcos de referencia y reglas de juego, generadoras de confianza y validez en la estrategia.

Los directivos entrevistados para la investigación concuerdan que la estrategia de innovación tiene alto

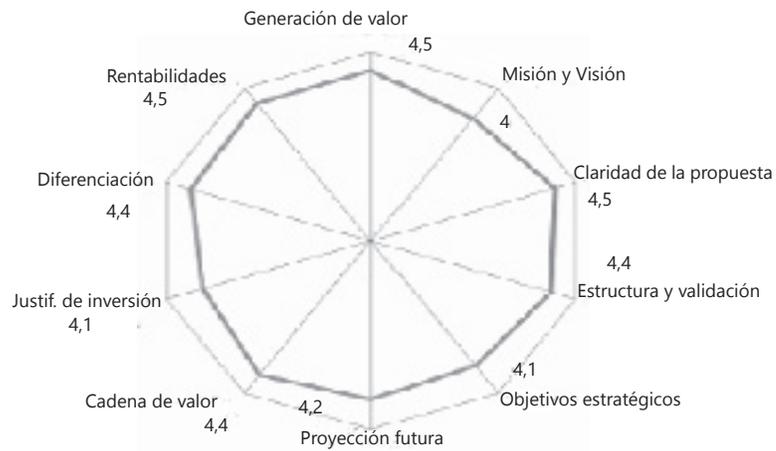


Figura 13. Radar de resultados para la variable de Dirección estratégica.



Figura 14. Radar de resultados para la variable de diseño de producto.

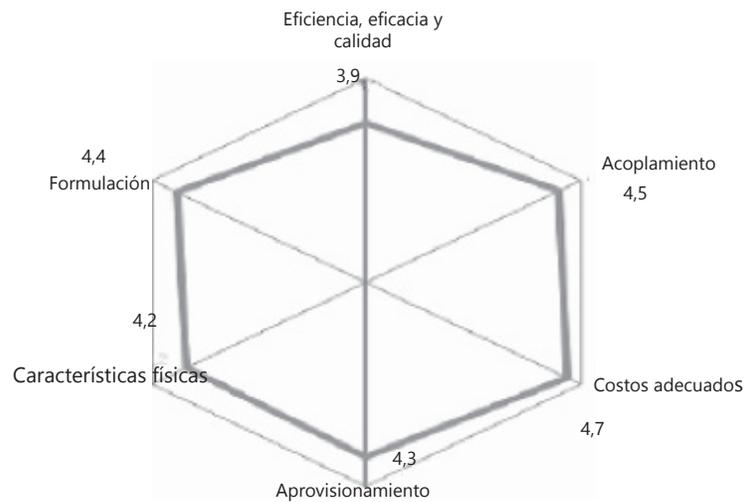


Figura 15. Radar de resultados para la variable de producción.

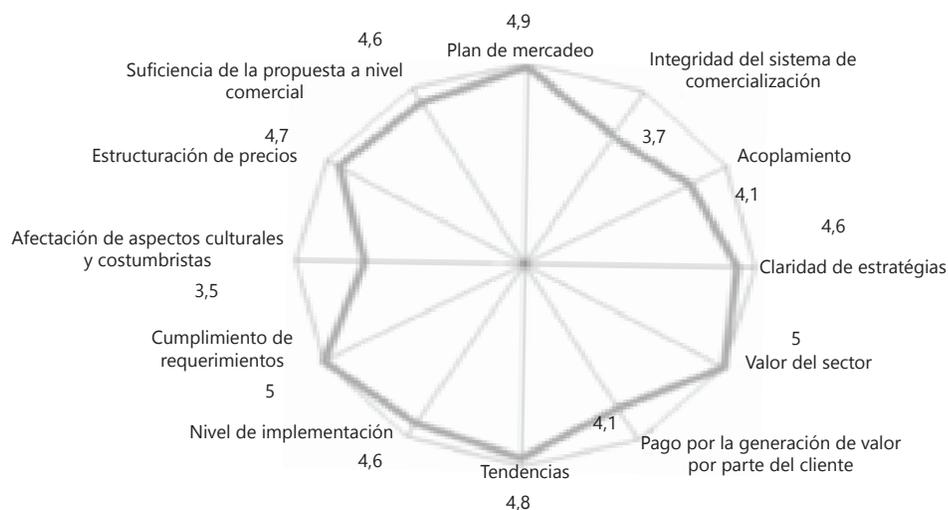


Figura 16. Radar de resultados para la variable de mercadeo.

grado de adaptabilidad en el mercado como en las estructuras empresariales, dejando una brecha de posibilidades para extender el estudio a nivel real. De igual manera coincidieron en afirmar que la innovación, enfocada al mercado de los fertilizantes, no termina, toda vez que se asimila a un proceso de mejoramiento continuo y evolución de acuerdo a los requerimientos del medio interno (empresariales) y externo (mercado).

CONCLUSIONES

La metodología implementada para el diseño de la estrategia propuesta, es coherente con los criterios de la innovación en valor, demostrando que aunque las fronteras del mercado y la estructura de la industria de los fertilizantes esten dadas, los actores de ésta pueden reconstruirlas por medio de estrategias específicas, definiendo nuevas reglas para la diferenciación y minimizando la disyuntiva entre valor y costo.

Es posible formular y evaluar una propuesta innovadora en el sector de fertilizantes, que sea adaptable a las necesidades de los empresarios antioqueños, identificando los componentes que generan valor y diferenciación para incrementar la capacidad de innovación en la industria.

Fue un acierto el utilizar la lógica difusa como sistema de evaluación de la estrategia, ya que demostró su enfoque principal en las intuiciones tanto del diseño como de la aceptación de la estrategia, permitiendo

enfrentarse con la complejidad y con la naturaleza mal definida de los sistemas a gran escala, valorando con mayor peso los aspectos cualitativos y permitiendo la evolución hacia una menor preocupación por los problemas matemáticos y por la precisión y una mayor tendencia hacia el desarrollo de soluciones aproximadas o de calidad para los problemas del mundo real.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E, L. Lassaletta, A. Sanz, J. Garnier and A. Vallejo. 2013. The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164(1): 32–52.
- Aguirre, J. 2010. Metodología para medir las capacidades tecnológicas de innovación aplicando sistemas de lógica difusa, caso fábricas de software, Tesis Magister en Ingeniería Administrativa. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 90 p.
- Burgelman, R.A., C.M. Christensen and S.C. Wheelwright. 2004. *Strategic management of technology and innovation*. McGraw-Hill, Boston, Massachusetts. 1.208 p.
- Camagni, R. 1991. Capítulo 7: Local 'milieu', uncertainty and innovation networks: towards a new dynamic theory of economic space. pp. 121- 142: In: Camagni, R. (ed.). *Innovation networks: spatial perspectives*. John Wiley and Sons, London. 247 p.

- Castillo, N. 1988. Una introducción al estudio del suelo y de los fertilizantes. Editorial América, Caracas. 163 p.
- Chun-hsien, W., L. Iuan-yuan and C. Chie-bein. 2008. Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation* 28(6): 349-363.
- Eisenhardt, K. and J. Martin. 2002. Dynamic capabilities: what are they? *Strategic Management Journal* 21(10-11): 1105-1121.
- Fink, A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverté, Barcelona. 450 p.
- Fuentes, J. 1994 ó 1999. El suelo y los fertilizantes. Quinta edición. Ediciones Mundiprensa, Madrid. 350 p.
- Grundey, M. and R. Heeks, 1998. Romainia's hardware and software industry: building IT policy and capabilities in a transition economy. Institute for Development Policy and Management, University of Manchester. Oxford, U.K. 63 p.
- Guan, J. and N. Ma. 2003. Innovative capability and export performance of Chinese firms. *Technovation* 23(9): 737-747.
- ICA, 2008. Estadísticas sobre empresas registradas. Instituto Colombiano Agropecuario. En: <http://www.ica.gov.co/servicios/fertilizantes/produccion.asp?empresa=all>; consulta, mayo 2010.
- ICA, 2008. Estadísticas sobre consumo y ventas de fertilizantes en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. En: <http://www.ica.gov.co/servicios/fertilizantes/consumosyventas.asp?empresa=all>; consulta: mayo 2010.
- ICA, 2008. Cartilla comercialización de fertilizantes, Instituto Colombiano Agropecuario. En: <http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes/Estadisticas/Comercializacion.aspx>; consulta: mayo 2010.
- Karsak, E. and O. Kuzgunkaya, 2002. A fuzzy multiple objective programming approach for the selection of a flexible manufacturing system. *International Journal of Production Economics* 79(2): 101-111.
- Klir, G. and B. Yuan. 1995. Fuzzy set and fuzzy logic. Theory and applications. Prentice Hall, Englewood, New Jersey. 563 p.
- Kosko, B. 1995. Pensamiento borroso: la nueva ciencia de la lógica borrosa. Crítica, Barcelona. 301 p.
- Leiro, R. 2006. Diseño, estrategia y gestión. Ediciones Infinito, Buenos Aires, Argentina. 220 p.
- Maltas, A. R. Charles, B. Jeangros and S. Sinaj. 2013. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. *Soil and Tillage Research* 126: 11-18.
- Manual de Fertilizantes. 1992. National Plant Food Institute. Edicionesl Limusa, México D.F. 285 p.
- Medina, S. 2006. Estado de la cuestión acerca del uso de la lógica difusa en problemas financieros. *Cuadernos de Administración* 19(32): 195-223.
- Medina, S. 2010. Chapter 6: Modeling of operative risk using fuzzy expert systems. pp. 135-159. In: Glykas, M. (ed.). *Fuzzy cognitive maps advances in theory, methodologies, tools and applications*. Springer, Chios, Greece. 200 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo de Colombia 2009. Encuesta nacional agropecuaria. En: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb/Boletines/tabid/75/Default.aspx>; consulta: abril 2010.
- Molero, J. and M. Buesa. 1996. Innovatory activity in Spanish firms: regular versus occasional patterns. *International Conference on Management and New Technologies*, CSIC, Madrid.
- Orozco, R. and R. Muñoz. 2012. Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 25(1): 16-31.
- Rousseva, R. 2008. Identifying technological capabilities with different degrees of coherence: The challenge to achieve high technological sophistication in latecomer software companies (based on the Bulgarian case), *echnological Forecasting and Social Change* 75(7): 1007-1031.
- Schroder, R. 2005. Administración de operaciones. Editorial Mac Graw Hill. México, D.F. 601 p.
- Wang, C., L. Lu and C. Chen. 2008. Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation* 28(6): 349-363.

Wang, L. and J. Mendel. 1992. Back propagation fuzzy system as nonlinear dynamic systems identifiers. pp. 1409-1418. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems. San Diego, California.

Wierer K y J. Aboot. 1978. Mercadeo de los fertilizantes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO, Roma. 177 p.

Yam, R., J. Guan, K. Pun and E. Tang. 2004. An audit of technological innovation capabilities in chinese firms: some empirical findings in Beijing, China. Research Policy 33(8): 1123–1140.

Zadeh, L. 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE transactions on systems. Man and Cybernetics 3(1): 28-44.

