

# Aplicación de la lógica difusa en la toma de decisiones para la sostenibilidad del suelo

## *Application of blurred logic in decision making for sustainable soil*

M.Sc. Eduardo Román Veitia Rodríguez<sup>1</sup>, Lic. Yoan Martínez-López<sup>11</sup>, M.Sc. Adelmo Montalbán Estrada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, CITMA, Camagüey, Cuba.

<sup>11</sup> Universidad de Camagüey, Facultad de Informática, Camagüey, Cuba.

**RESUMEN.** En el presente trabajo se expone la aplicación de la lógica borrosa o difusa, para identificar los tipos de suelos más afectados en un agrosistema, por el Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, tomando como caso de estudio: la presencia de los síntomas del síndrome y el grado en que afectan el agrosistema: Finca “La Esperanza”, en la provincia de Camagüey, donde se empleó el modelo Big6. También se identifican doce tipos de suelos, los cuales son los más afectados por el Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, así como los síntomas con efecto de mayor alcance sobre estos suelos. La ejecución rigurosa de los diferentes pasos del método borroso empleado admitió seleccionar los suelos más afectados por los doce síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo.

**Palabras claves:** lógica difusa, Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, síntomas.

**ABSTRACT.** This paper presents the application of blurred or diffuse logic, to identify the types of soils most affected in an agro-system, by the Central Mechanism of Soil's Overuse Syndrome, taking as a case study: the presence of the syndrome symptoms and the degree in which they affect the agro-system: Finca “La Esperanza”, in the province of Camagüey, where the Big6 model was used. Besides, twelve types of soils are identified, which are the most affected by the aforementioned syndrome and symptoms with far-reaching effect on these soils. The rigorous execution of the different steps of the applied blurred method admitted having selected the most affected soils by the twelve signs of the Central Mechanism of Soil's Overuse Syndrome.

**Keywords:** Blurred logic, Central Mechanism of Soil's Overuse Syndrome

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo (Beezdicek *et al.*, 1999; Douglas, 2000). Este proceso de gestión solamente está concentrado en los elementos naturales de interacción sociedad-naturaleza entonces el factor antropológico es escasamente tenido en cuenta; como fuerza motriz del Cambio Global (CG) mediante su representación en los sistemas agrícolas: “el Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo” uno de los 16 modelos globales de no-sostenibilidad. Estos modelos llamados síndromes son: el resultado de las redes de interrelaciones o cadenas causales en que se vinculan los distintos componentes que conforman la realidad, devenido de las actividades antrópicas, que pueden ser estudiados no sólo para comprender fenómenos a nivel global, sino a otros niveles de desagregación. Se trata de patrones funcionales que

configuran una red de interrelaciones dando origen a resultados o tendencias desfavorables en las que la presión antropogénica sobre el medio ambiente natural. Estos síndromes del CG caracterizan los peligros y desarrollos riesgosos de la interacción sociedad-naturaleza y representan una línea base para medir e indicar la “no-sostenibilidad.

Los síndromes pueden ser interpretados como:

- modelos de desarrollo no-sustentables dentro del sistema sociedad-naturaleza, que pueden ser explicados solamente mediante los efectos recíprocos entre los elementos particulares,
- modelos de daños causados antropogénicamente, modelos de interacción de fenómenos complejos,
- formalizados parcialmente por medio de complejos causa-efecto interdisciplinaria e intersectorial,

d) redes de interacciones características de síntomas y sus efectos recíprocos y formulados más allá de cada una de las esferas del sistema de la tierra.

El Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, en los diferentes tipos de suelos agrícolas, siempre está asociado a la producción de impactos, tales como: el cambio climático, la degradación de los suelos, pérdida de biodiversidad, escasez y contaminación del recurso agua, la creciente actividad antropogénica en la generación de desastres naturales, crecimiento de la población y distribución; además de la predisposición del recurso suelo dada por sus factores limitantes (Blum, 2003; Lal, 2001; Huffman, 2000). Todo este razonamiento indica que este síndrome es una variable que no debe ser eliminada en el momento de ser analizada la variabilidad de un agrosistema; así como la necesidad de evaluar de la interacción sociedad-naturaleza en el recurso a través del proceso de emergencia del síndrome (modelo) dado por introducción a los ecosistemas agrícolas del Mecanismo Central de este modelo causado por las actividades humanas asociado consecuente componente subjetivo y su carácter complejo.

Para entender las razones de utilizar la lógica difusa como método rector (Cassel-Gintz *et al.*, 2003); para evaluar la sostenibilidad ambiental del suelo es necesario estudiar este tipo de lógica.

La lógica difusa (Zadeh, 1978; Yoshinari *et al.*, 1993), se desarrolla a partir del concepto de conjunto difuso (Zadeh, 1965; Zimmermann, 1985). Dado que un conjunto difuso es aquel que no presenta fronteras claramente definidas y puede contener elementos con un grado parcial de pertenencia (Kaufmann *et al.*, 1987; Kaufmann *et al.*, 1990; Kaufmann *et al.*, 1993), a diferencia de los conjuntos clásicos los cuales incluyen completamente o excluyen completamente un elemento determinado, por ejemplo X debe estar en el conjunto A o en su complemento, el conjunto NOT-A, es decir o en uno o en otro.

Algunas de sus características generales son:

- Es conceptualmente fácil de entender.
- Es flexible.
- Tolera datos imprecisos.
- Puede modelar funciones no lineales de cualquier complejidad.
- Utiliza al máximo la experiencia de los expertos.
- Puede combinarse con las técnicas convencionales de control.
- Está basada en el lenguaje natural.

Una de las razones de su amplia utilización es que la base conceptual de la lógica difusa descansa en variables lingüísticas es decir, variables cuyos valores son palabras en lugar de números (Trillas, 1980; Trillas *et al.*, 1992; Kosko, 1993).

## MÉTODOS

### Identificación de los síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo

Los pasos metodológicos para identificar el Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización en un agrosistema son los siguientes:

1. Gestión de búsqueda de datos de la transformación ambiental en el territorio donde se encuentra enclavado el agrosistema mediante los instrumentos que se presentan seguidamente:
  - a) Revisión de archivos y bases de datos.
  - b) Revisión de la información publicada y sobre soporte electrónico.
  - c) Revisión de mapas y fotos aéreas.
  - d) Aplicación de entrevistas.
  - e) Aplicación de encuestas (Postales/Telefónicas, en tiempo real).
  - f) Muestreo del ecosistema.
  - g) Revisión del cumplimiento de la legislación de uso y conservación del suelo nacional e internacional, y de las prácticas agrícolas empleadas históricamente por los agricultores y sus efectos al medio.
2. Establecimiento del mecanismo central del síndrome mediante expertos, actores y decisores basándose en el análisis de los datos recopilados en el paso 1, siguiendo la secuencia de pasos siguientes:
  - a) Establecer las esferas afectadas por la actividad transformadora del hombre en el territorio estudiado.
  - b) Identificar los daños a la gestión en el territorio sobre las esferas identificadas.
    - a) Identificar los síntomas correspondientes a cada esfera presente en el territorio.
    - b) Declarar el mecanismo central del síndrome.

### Aplicación de la Lógica Difusa

A partir del modelo Big6 para la solución de problemas de información, como modelo de competencias en el uso y manejo de la información, se desarrollaron los pasos siguientes para la realización del estudio (Eisenberg y Berkowitz, 2005):

1. Establecer los componentes del problema a resolver y los indicadores asociados.
2. Evaluar los tipos de suelos asociados en una tabla a los indicadores (síntomas) identificados asignándole valores entre 0 y 1.
3. Contar las veces en que un tipo de suelo resulta evaluado igual o superior al que le sigue en una tabla, de esta operación se obtiene número enteros (2, 4,5, etc.)
4. Dividir cada número ubicado en una casilla de la tabla resultante del, paso "3" entre el número total de indicadores (síntomas).
5. Establecer el umbral de los resultados del paso "4"; los valores que sean iguales y mayores que éste asignarle el valor "1" y los menores "0".
6. Identificación de los suelos más afectados por los síntomas del mecanismo central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

Para la identificación de los síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del suelo en el agrosistema: Finca "La Esperanza", se empleó la metodología anteriormente expuesta, (Tabla 1).

**TABLA 1. Síntomas del Mecanismo Central del SSUS identificados en el agrosistema “La Esperanza”**

No.	Síntomas (Indicadores)	Símbolos de los Indicadores
1	Incremento de fotoquímicos	C1
2	Incremento de agroquímicos	C2
3	Pérdida de diversidad biológica	C3
4	Cobertura del suelo	C4
5	Pérdida de fertilidad	C5
6	Cambios en la escorrentía	C6
7	Incremento de deforestación	C7
8	Nivel del uso de tecnologías sostenibles	C8
9	Calidad de manejo del suelo	C9
10	Homogenización del ecosistema	C10
11	Agriculturización	C11

Además se identificó los tipos de suelos presentes en este agrosistema (Tabla 2).

**TABLA 2. Tipos de suelos presentes en el agrosistema “La Esperanza”**

Número	Tipo de Suelo	Símbolo del Tipo de Suelo
1	Ferrítico Purpura Típico	S1
2	Ferrítico Pardo Rojizo x	S2
3	Ferrítico Purpura Concrecionario	S3
4	Ferrítico Purpura Laterizado	S4
5	Ferrítico Purpura Hidratado	S5
6	Ferrítico Rojo Típico	S6
7	Ferrítico Rojo Concrecionario	S7
8	Ferrítico Rojo Compactado	S8
9	Ferrítico Rojo Hidratado	S9
10	Ferrítico Rojo Poco Lixiviado	S10

El algoritmo propuesto por Gil, (1999), permite el ordenamiento de un conjunto  $E1 = \{P1, P2, \dots, Pm\}$  de m elementos a partir de otro conjunto  $E2 = \{C1, C2, \dots, Cn\}$  de n características o cualidades que forman los criterios para el ordenamiento. Tomando  $E1 = \{S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12\}$  y  $E2 = \{C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, S12\}$ . Luego se construye la matriz de evaluación del grado de presencia de síntomas en los tipos de suelos (Tabla 3). A partir de los elementos de esta matriz pueden obtenerse estimaciones numéricas objetivas. Con esta información se forma la matriz de grado de afectación de un tipo de suelo con respecto al otro (Tabla 4). Seguidamente se divide cada elemento de la matriz entre el total de indicadores, en este caso son 12 indicadores y se obtiene una matriz cociente (Tabla 5). Considerando un umbral, en este caso 0,60, entonces para los valores mayores o iguales a 0,60 se convierten en 1 y para los valores menores se convierten en 0, convirtiendo esta matriz a booleana (Tabla 6).

**TABLA 3. Evaluación del grado de presencia de síntomas en los tipos de suelos por los expertos**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
C1	0,2	0,1	0,6	0,9	0,7	0,4	0,3	0,2	0,8	0,5	0,3	0,1
C2	0,1	0,3	0,5	0,8	0,4	0,3	0,5	9	0,8	0,3	0,5	0,2
C3	0,3	0,5	0,1	0,6	0,5	0,1	0,2	0,3	0,6	0,4	0,3	0,9
C4	0,5	0,7	0,6	0,4	0,1	0,2	0,6	0,4	0,1	0,6	0,8	0,8
C5	0,9	0,8	0,7	0,2	0,5	0,1	0,9	0,8	0,9	0,8	0,6	0,7
C6	0,6	0,5	0,3	0,1	0,2	0,9	0,6	0,5	0,5	0,4	0,9	0,6
C7	0,3	0,2	0,5	0,2	0,1	0,4	0,2	0,2	0,9	0,8	0,7	0,5
C8	0,1	0,3	0,1	0,6	0,5	0,1	0,1	0,2	0,8	0,2	0,6	0,6
C9	0,2	0,4	0,3	0,7	0,4	0,2	0,1	0,2	0,6	0,9	0,5	0,8
C10	0,3	0,1	0,5	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4
C11	0,8	0,4	0,3	0,7	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,5	0,1	0,3
C12	0,1	0,1	0,2	0,9	0,3	0,2	0,8	0,5	0,5	0,4	0,9	0,3

**TABLA 4. Grado de afectación de un tipo de suelo con respecto a otro suelo**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S1	X	6	5	6	7	6	7	6	3	4	6	7
S2	6	X	6	6	8	6	7	6	3	10	7	7
S3	8	5	X	5	8	6	7	6	4	10	6	7
S4	5	5	4	X	6	7	6	7	4	4	5	4
S5	5	5	4	3	X	6	5	4	4	3	4	5
S6	8	6	4	4	4	X	7	6	4	4	4	4
S7	6	6	6	5	7	4	X	6	3	4	3	4
S8	5	6	5	8	7	6	8	X	3	4	3	4
S9	8	10	8	8	9	8	9	9	X	9	3	7
S10	9	7	8	7	7	7	8	9	3	X	6	6
S11	10	9	8	7	9	9	10	9	3	6	X	7
S12	9	8	8	8	9	7	8	4	5	6	6	X

**TABLA 5. Cocientes de las divisiones de los grados de afectaciones y el total de indicadores**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S1	X	0,50	0,42	0,50	0,58	0,50	0,58	0,50	0,25	0,33	0,50	0,58
S2	0,50	X	0,50	0,50	0,67	0,50	0,58	0,50	0,25	0,83	0,58	0,58
S3	0,67	0,42	X	0,42	0,67	0,58	0,58	0,50	0,33	0,83	0,50	0,58
S4	0,42	0,42	0,33	X	0,50	0,50	0,50	0,58	0,33	0,33	0,42	0,33
S5	0,42	0,42	0,33	0,25	X	0,33	0,42	0,33	0,33	0,25	0,33	0,42
S6	0,67	0,50	0,33	0,33	0,33	X	0,58	0,50	0,33	0,33	0,33	0,33
S7	0,50	0,50	0,50	0,42	0,58	0,33	X	0,50	0,25	0,33	0,25	0,33
S8	0,42	0,50	0,42	0,67	0,58	0,50	0,67	X	0,25	0,33	0,25	0,33
S9	0,67	0,83	0,67	0,67	0,75	0,67	0,75	0,75	X	0,75	0,25	0,58
S10	0,75	0,58	0,67	0,58	0,58	0,58	0,67	0,75	0,25	X	0,50	0,50
S11	0,83	0,75	0,67	0,58	0,75	0,75	0,83	0,75	0,25	0,50	X	0,50
S12	0,75	0,67	0,67	0,58	0,75	0,58	0,67	0,33	0,42	0,50	0,50	X

**TABLA 6. Registro de la conversión de los cocientes menores, iguales o superiores al umbral**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
S1	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	x	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
S3	1	0	x	0	1	0	0	0	0	1	0	0
S4	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0
S6	1	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0
S8	0	0	0	1	0	0	1	x	0	0	0	0
S9	1	1	1	1	1	1	1	1	x	1	0	0
S10	1	0	1	0	0	0	1	1	0	x	0	0
S11	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	x	0
S12	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	x

A la matriz booleana se le aplica el siguiente procedimiento:

**Paso 1:** El primer lugar en el ordenamiento lo forman los Pi para los cuales la columna de la matriz contenga la mayor cantidad de ceros.

**Paso 2:** El último lugar en el ordenamiento lo forman los Pj para los cuales la fila de la matriz contenga la mayor cantidad de ceros.

**Paso 3:** Se eliminan tanto las columnas como las filas que cumplen los pasos 1 y 2 de la matriz booleana y se repite el procedimiento, tanto lugares se desea obtener.

Aplicando este procedimiento a la matriz booleana, se obtuvo el siguiente ordenamiento: {S9, S11, S12} < S6 < {S2, S8, S10} < {S3} < {S1, S4, S7}

Donde el orden lo determina el conjunto de columnas eliminadas en cada iteración, por lo que se le deberá prestar mayor atención a los suelos {S1, S4, S7}, {S3} {S2, S8, S10}, en este orden son los más afectados por los síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo en la Finca “La Esperanza” (Tabla 7).

La ejecución rigurosa de los diferentes pasos del método borroso empleado admitió seleccionar los suelos más afectados por los doce síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo identificados en los doce tipos de suelos analizados debido a su presencia en agrosistema (Finca La Esperanza), para tomar las decisiones

correspondiente en cuanto a la intervención diferenciada dirigida a mejorar la sostenibilidad ambiental de los suelos en el agrosistema estudiado.

En la Tabla 8 se muestra el porciento con que están presentes los síndromes en cada tipo de suelo seleccionado, mostrándose en la Figura 1. Efectos más significativos de los síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo sobre los tipos de suelos presentes en el agrosistema “La Esperanza”.

**TABLA 7. Ordenamiento decreciente de los suelos más afectados en el agrosistema**

Simbología Adoptada	Tipo de Suelo
S1	Ferrítico Purpura Típico
S4	Ferrítico Purpura Laterizado
S7	Ferralítico Rojo Concrecionario
S3	Ferrítico Purpura Concrecionario
S2	Ferralítico Pardo Rojizo x
S8	Ferralítico Rojo Compactado
S10	Ferralítico Rojo Poco Lixiviado

A través de la Tabla 8 y la gráfica se constata que los síntomas (indicadores) del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo; lo cual queda resumido en la Tabla 9.

**TABLA 8. Porcentaje en que están presentes los síndromes en cada tipo de suelo**

	S1	S4	S7	S3	S2	S8	S10
C1	20	90	30	60	60	20	50
C2	10	80	50	50	50	90	30
C3	30	60	20	10	10	30	40
C4	50	40	60	60	60	40	60
C5	90	20	90	70	70	80	80
C6	60	10	60	30	30	50	40
C7	30	20	20	50	50	20	80
C8	10	60	10	10	10	20	20
C9	20	70	10	30	30	20	90
C10	30	10	20	50	50	20	30
C11	80	70	10	30	40	20	30
C12	10	90	20	20	10	50	30

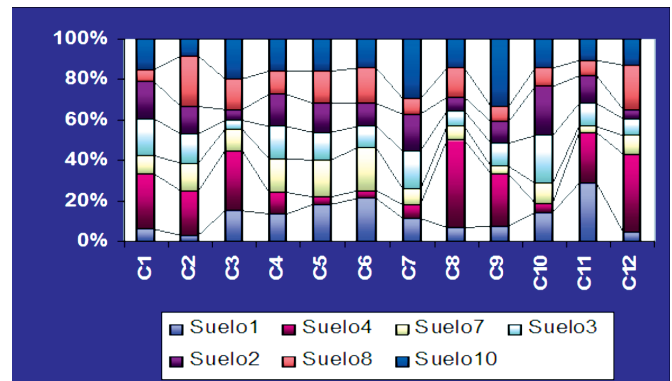


FIGURA 1. Gráfica de los efectos más significativos de los síntomas del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo sobre los tipos de suelos del agrosistema “La Esperanza”.

**TABLA 9. Ordenamiento decreciente de los Síntomas (indicadores) con efectos significativos sobre los diferentes tipos de suelos afectados**

No.	Síntomas (Indicadores)	Tipos de suelos afectados
1	Pérdida de fertilidad	S7,S1,S3,S2,S8,S10
2	Cobertura del suelo	S7,S3,S2,S10
3	Incremento de fitoquímicos	S4,S2,S3
4	Incremento de agroquímicos	S4,S8
5	Cambios de escorrentía	S1,S7
6	Agriculturización	S1,S4
7	Calidad del manejo de suelos	S10
8	Incremento de la deforestación	S10
9	Reciclaje de los desechos	S4
10	Pérdida de diversidad Biológica	S4
11	Homogenización del agrosistema	Efecto medio sobre todos los suelos
12	Nivel de uso de tecnologías sostenibles	Efecto medio sobre todos los suelos

Los efectos de los indicadores sobre los tipos de suelos más afectados por los síntomas tienen dos componentes uno significativo cuando es 60% o mayor y debajo de este valor aquí salvo en los dos últimos indicadores solamente se ha tomado en consideración el primer grupo para identificar los indicadores con efectos de mayor alcance sobre los suelos más dañados por el Mecanismo Central del Síndrome.

### CONCLUSIONES

- En este trabajo se muestra el empleo de la lógica difusa

para identificar los síntomas del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del Suelo, que está presente en el agrosistema “La Esperanza”, permitiendo tomar decisiones para sostenibilidad de los mismo, sirviendo de herramienta a los expertos sin requerimiento de un tratamiento matemático muy complejo y resultan válidas siempre que se requiera combinar información medible y objetiva con información subjetiva como resulta el caso de la identificación del Mecanismo Central del Síndrome de Sobre-Utilización del suelo y su influencia sobre los diferentes tipos de este recurso.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEEZDICEK, D. F.; PAPANDICK, R. I. & LAL, R.: *Important of soil quality to health and sustainable land managment*, Wisconsin, USA. 1999.  
 BLUM, W. H.: *Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2003.  
 CASSEL-GINTZ, M. A.; LIIDIKE, M. K. B.; PETSCHER- HELD, G.; REUSWIG, F.; PLIICH, M.; & LAMME, G: “Fuzzy logic based global assessment of the marginality of agricultural land use”, *Climate Research*, 8: 135-150, 2003.  
 DOUGLAS, M.: *Sustainable Use of Agricultural soils*, A Review of the Prerequisites for success or Failure Development and Environment and Environment Institute of Geography, Ed. University of Borne, Switzerland, 2000.  
 EISENBERG, M.; B. BERKOWITZ: *El modelo Big6 para la solución de problemas de información. En: Diplomado de Gestión de la Información en Salud, Módulo I [en línea] 2005, Disponible en: <http://www.eduteka.org/tema9.php> [Consulta: mayo 18 2012].*  
 GIL ALUJA, J: *Elementos para una teoría de la decisión en la incertidumbre*, Editorial Milladoiro, España, 1999.

- HUFFMAN, E.; EILERS, R. G.; PADBURY, G.; WALL, G. & MACDONALD, K. B.: "Canadian agrienvironmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity", *Agriculture, Ecosystems & Environment* 81: 113-123, 2000.
- KAUFMANN, A. y GIL ALUJA J.: *Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre*, Editorial Hispano Europea S. A, España, 1987.
- KAUFMANN, A. y GIL ALUJA J.: *Las matemáticas del azar y de la incertidumbre*, Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, Madrid, España, 1990.
- KAUFMANN, A. y GIL ALUJA, J.: *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*, Editorial Milladoiro, España, 1993.
- KOSKO, B.: *Pensamiento borroso*, Ed. Grijalbo Mondadori, Barcelona, España, 1993.
- LAL, R.: "Methods for Assessment of Soil Degradation", *Advance in Soil Science*, (0): 17-30, 2001.
- TRILLAS, E.: *Conjuntos borrosos*, Ediciones Vicens, Barcelona, España, 1980.
- TRILLAS, E. y GUTIERREZ RIOS, J.: *Aplicaciones de la lógica borrosa*, Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España, 1992.
- YOSHINARI, Y.; PEDRYCZ, W.; & K, H.: "Construction of fuzzy models through clustering techniques", *Fuzzy Sets and Systems*, 54: 157-165, 1993.
- ZADEH, L. A.: "Fuzzy Sets Information and Control", *Fuzzy Sets and Systems*, 8: 338-353, 1965.
- ZADEH, L. A.: "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, 1: 3-28, 1978.
- ZIMMERMANN, H. J.: *Fuzzy sets and its applications*, Publications Kluwer Nijhoff, Dordrecht, Southern Holland, 1985.

**Recibido:** 17 de diciembre de 2012.

**Aprobado:** 20 de marzo de 2014.

Eduardo Román Veitia Rodríguez, Investigador, Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey. CITMA, Camagüey, Cuba, TEL.262273, 261657. Correo electrónico: [veitia@ciac.cu](mailto:veitia@ciac.cu)

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



**||| GIAF**