

BASES DE DATOS DIFUSAS: UN MODELO PARA LA INFERENCIA DE POBLACIONES DE NEMATODOS EN BANANO

Sergio Rodríguez C.*
Leonardo Cordero J.**

En este trabajo, se toma un problema agronómico concreto como es la inferencia de la población de una especie parásita de nemátodos en banano, para crear con base en la propuesta de George et al., un modelo de bases de datos difuso orientado a objetos, con una serie de atributos, que se transfieren de variables de ámbito a variables lingüísticas bien caracterizadas y se plantean las matrices de similitud para una eventual implementación. Se dejan abiertos una serie de temas para futura investigación.

INTRODUCCION

En el área de las disciplinas biológicas, la incertidumbre y la vaguedad son parte de los datos que normalmente se manejan. En muchas ocasiones, los datos individuales no son de gran importancia sino el agrupamiento en clases con límites más o menos difusos. A veces, los datos que caen dentro de una misma clase son tratados como iguales, indistintamente de su valor numérico individual. Con frecuencia las mediciones son de carácter cualitativo y están basadas en apreciaciones subjetivas del experto o tomador de las medidas.

Por esta razón, el planteamiento de la lógica y las matemáticas difusas podría ser muy útil, no solo para capturar más semántica en un medio electrónico, sino para facilitar la manipulación de la vague-

dad y la incertidumbre tan frecuente en el mundo biológico.

En el área de la agronomía, actualmente se está gestando un cambio profundo en la forma de analizar y utilizar la información de campo con la inclusión del análisis geoestadístico y los GIS (Sistemas de Información Geográfica). En esta misma área, una herramienta como la lógica difusa también podría dar un aporte en cuanto al manejo de la vaguedad y la incompletitud de la información; por ejemplo, se podría responder a preguntas como: ¿Qué tan alta es la población de determinada plaga, en un cultivo determinado y un área determinada? Para manipular este tipo de información es de gran ayuda la utilización de bases de datos difusas y lenguajes difusos de consultas que permiten obtener la información deseada.

El objetivo de este trabajo es mostrar que un problema de agronomía concreto: "*Inferencia de la población de una especie de nemátodo plaga en banano a partir de datos ambientales y de la raíz*" se puede modelar usando la lógica difusa. Para tal efecto se utiliza el modelo orientado a objetos presentado por George et al.⁷ y se muestra un ejemplo para la población de *Radophulus*.

* Centro de Informática, Universidad de Costa Rica, e-mail: rsergio@brunca.ci.ucr.ac.cr.

** Servicios Agromáticos C.G.B. de Costa Rica, e-mail: lcordero@buitre.cic.itcr.ac.cr

En el área de la agronomía, actualmente se está gestando un cambio profundo en la forma de analizar y utilizar la información de campo con la inclusión del análisis geoestadístico y los GIS (Sistemas de Información Geográfica).

El trabajo está dividido en cinco secciones: la primera trata los conceptos básicos y los diferentes enfoques para la construcción de la función de pertenencia en la lógica difusa. La segunda sección, menciona la problemática del almacenamiento y consulta de la información difusa. La tercera sección, presenta el modelo de George *et al.* La cuarta sección presenta el modelaje del problema de los nemátodos y en la quinta se exponen las conclusiones del trabajo.

CONCEPTOS BASICOS

Como lo apunta la Enciclopedia Británica: En el aprendizaje del mundo real, el hombre constantemente emplea tres métodos de organización, los cuales llenan todo su pensamiento⁴:

- “La diferenciación de la experiencia en objetos particulares y sus atributos
- “La distinción entre objetos como un todo y sus partes componentes
- “La formación y distinción entre diferentes clases de objetos”

Un problema agronómico, como el tratado en este trabajo, se puede modelar de manera natural usando el paradigma de orientación a objetos, particularmente, bases de datos orientadas a objetos (OODB) aunadas a la teoría de la lógica difusa⁷.

En lógica difusa, el principal problema siempre ha sido la definición de la función de pertenencia (μ), que es la que define el grado de pertenencia de un elemento dentro de un conjunto difuso. De acuerdo con las investigaciones realizadas, no existe un estándar de definición, sino que se han propuesto diferentes formas válidas de definir la función de pertenencia, dependiendo del contexto en que se esté realizando la investigación⁵.

Por ejemplo, se puede decir que la función de pertenencia la puede dar el experto, cuando la opinión de éste es muy apreciable e importante para realizar investigaciones y obtener resultados³. Cuando lo que interesa es manipular ámbitos bien conocidos, pero por alguna razón el experto está inseguro acerca del valor de pertenencia de cada dato, se puede utilizar lo que se conoce como funciones *predefinidas*³. Existe la posibilidad de manipular funciones simétricas o asimétricas, cuando se puede trabajar sobre intervalos, obtener matemáticamente el centroide, el número de clases⁹ y los puntos de cruce³.

Otro enfoque es el *Cluster Analysis* difuso, en el que se involucran conceptos como variables lingüísticas, centroide, índice de difusividad y vector de membresía⁹.

Para determinar la función de pertenencia por el criterio del experto, se puede utilizar el concepto de relevancia de un atributo a un objeto dado⁷, e incluso combinarlo con un análisis de factores.

Este trabajo está basado en el modelo de George *et al.*⁷, la función de pertenencia está definida en función de la relevancia de un atributo a un objeto, la relevancia relativa con respecto a la relevancia máxima y el grado de inclusión de un atributo dentro del ámbito de valores permitidos.

PROBLEMA DE ESTUDIO

En teoría de bases de datos, un área activa de investigación es la representación y manipulación de la información incierta e imprecisa. En la última década, varios investigadores han propuesto nuevos modelos de datos basados en el modelo relacional de Codd. Casi todos los modelos propuestos para el manejo de la información imprecisa usan algún aspecto de la lógica difusa para representarla^{1,2,10 y 11}.

En el área de la agronomía, una herramienta como la lógica difusa puede dar un aporte para el manejo de información vaga o incompleta.

Existen diferentes propuestas basadas en la definición de la función de pertenencia, entre las cuales se puede citar el almacenamiento de conjuntos difusos (tuplas difusas) con un solo valor de pertenencia del conjunto dentro del contexto. Otros investigadores trabajan con la idea de implementar el valor de pertenencia por atributo dentro del contexto permitido⁵.

Una de las ideas más atractivas en el almacenamiento de información difusa son las bases de datos basadas en similitud^{1, 7}. La idea central en esta propuesta es que la equivalencia o relaciones de identidad entre valores de dominio se reemplaza con una medida de cercanía: la matriz de similitud¹. En este modelo, el conjunto básico del dominio consiste de valores lingüísticos (alto, medio, bajo, etc.) o números difusos (ámbitos), pero no ambos simultáneamente.

El modelaje del problema de población de nemátodos se basa en el uso de la *matriz de similitud*¹, para representar las relaciones y equivalencias entre los atributos.

Se han realizado varios trabajos sobre la recuperación de la información, en los que se propone el uso de operadores difusos para la creación de lenguajes difusos basados en el álgebra relacional y en particular sobre SQL^{1, 2, 8, 11}.

Existe al menos un modelo de consulta para Bases de Datos Orientadas a Objetos⁷. En una publicación posterior se tratará este tema. Para profundizar sobre estos temas se refiere al lector a los trabajos de Buckles y Petry², George *et al.*⁷, Ichikawa y Hirakawa⁸ y Prade y Testemale¹⁰.

DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo utilizado es homogéneo donde los atributos pueden ser números y

predicados difusos. Utiliza la relación de similitud como la base para la representación y manipulación de datos. Esta relación determina las propiedades de cualquier par de valores existentes en el dominio. Estos valores cumplen con simetría, reflexibilidad y transitividad. Así:

$$S(x,x) = 1$$

$$S(x,y) = S(y,x)$$

$$S(x,y) = \max_{z \in \text{Dom}} [\min (S(x,z), S(z,y))]$$

El modelo de George *et al.*⁷ es como sigue:

Considere una clase C con atributos

$$a_1, a_2, \dots, a_n.$$

Sea $O_j \in C$, tal que

$$O_j = (i, \langle a_1: i_1, a_2: i_2, \dots, a_n: i_n \rangle)$$

Sea

$$\mu_c(O_j) = g[f(\mathfrak{R}_{a_i-C}), N(\text{ámbito}(a_i)/O(a_i))]$$

donde:

$$g = \max [f(a,b)] \text{ y } f(a,b) = b^*(a/\mathfrak{R}_{\max})$$

\mathfrak{R}_{a_i-C} indica la relevancia del a_i al concepto C,

$N(\text{ámbito}(a_i)/O(a_i))$ denota el grado de inclusión de los valores del atributo de O_j en el ámbito a_i perteneciente a la clase C. "g" refleja el tipo de relación existente entre una instancia y una clase (f y g son funciones que pueden ser heredadas de la superclase o pueden ser definidas dentro de la clase local).

El valor de \mathfrak{R}_{a_i-C} puede ser calculado o suplido por el experto. El modelo contempla varias posibilidades para obtener $N(\text{ámbito}(a_i)/O(a_i))$ dependiendo de la cardinalidad de $O(a_i)$. Mayor detalle se puede encontrar en George *et al.*⁷.

Un problema agronómico se puede modelar de manera natural usando el paradigma de orientación a objetos aunado a la teoría de la lógica difusa.

APLICACION DEL MODELO A LA INFERENCIA DE POBLACIONES DE *Radophylus* EN BANANO

Justificación de las variables consideradas

Fertilización

Práctica agrícola por medio de la cual se agregan nutrientes al suelo para nutrir a la planta.

Justificación

La fertilización entre otras cosas, provoca un crecimiento de la raíz por lo que aumenta el substrato alimenticio para los nemátodos, atrayéndolos y permitiendo el crecimiento de la población.

Precipitación

La precipitación es la cantidad de lluvia que cae en cierto período, se mide en milímetros diarios, semanales, decadales, mensuales o anuales.

Justificación

La lluvia, aunada a otros factores climáticos y del suelo, determina las condiciones aeróbicas del suelo, que son importantes para el desarrollo de la raíz y la supervivencia de los nemátodos.

Epoca

Momento del año en que se toma la muestra, se define con respecto al comportamiento de las lluvias a lo largo del año.

Justificación

Sin pérdida de generalidad, se distinguen cuatro épocas: lluviosa, veranillo, muy lluviosa y verano. Se sospecha que la

época puede tener una injerencia en el nivel de poblaciones de nemátodos en banano. Es de esperar que en la época de verano las poblaciones de nemátodos *tiendan* a disminuir, en la lluviosa a aumentar, en los veranillos a aumentar (aunque talvez el efecto no sea significativo) y en la época muy lluviosa a crecer inicialmente y luego disminuir.

Precipitación en la época

La cantidad de lluvia acumulada que ha caído en una época determinada.

Precipitación acumulada durante el mes

Los mm de lluvia acumulados durante los últimos 30 días antes de la toma de la muestra.

Justificación

La alta humedad, a corto plazo, puede afectar las poblaciones de nemátodos. A pesar de que la época no fuera muy húmeda, si las lluvias se concentraron en un período muy corto el impacto de la saturación del suelo sobre la población de nemátodos puede ser suficiente como para afectar su comportamiento.

Aplicación de nematicida

Práctica agronómica orientada a disminuir las poblaciones de nemátodos mediante la incorporación al suelo de un agroquímico nematicida.

Justificación

El nematicida disminuye las poblaciones, por lo tanto disminuye el ataque a las raíces; el decremento del ataque favorece el crecimiento de la raíz, lo que aumenta el substrato alimenticio para los nemátodos que podría atraerlos, pero el

nematicida los aleja o mata inhibiendo el crecimiento de la población.

Edad de la plantación

La cantidad de años que están las mismas plantas en el campo; para efectos prácticos el banano puede considerarse una planta perenne.

Justificación

En las plantaciones jóvenes se espera que las poblaciones bajas de nemátodos sean las más frecuentes. Las plantaciones adultas a menudo tienen poblaciones altas o moderadas. Como es el período de mayor producción, se aplican más nematicidas y las poblaciones fluctúan mucho. En las plantaciones viejas, la producción tiende a disminuir, así como las aplicaciones de nematicidas, en consecuencia se espera que las poblaciones altas sean más frecuentes.

Distancia al canal

La distancia a la que está una muestra de raíz con respecto a cada uno de los canales de drenaje de una tapa*.

Justificación

En un estudio geoestadístico reciente (Torres & Barboza, sin publicar), se determinó que las poblaciones de cuatro especies de nemátodos en banano, tienden a ser altas a las orillas de los canales de drenaje y conforme se alejan de los canales tienden a disminuir.

Distancia al cable

La distancia a la que está una muestra de raíz respecto a cada uno de los cables en una tapa.

Justificación

En un estudio geoestadístico reciente, se determinó que las poblaciones de cuatro especies de nemátodos en banano, tienden a ser altas cerca de los cables de transporte de fruta y conforme se alejan tienden a disminuir.

Raíz total

La cantidad de raíz de banano que se extrajo en la muestra.

Justificación

La raíz es el substrato alimenticio de los nemátodos, a mayor cantidad, mayor disponibilidad de alimento y las poblaciones de nemátodos crecerán, si las condiciones son favorables y si no se toman las medidas de control.

Raíz funcional

La cantidad de raíz sana que se recolectó en una muestra.

Justificación

La raíz funcional representa el alimento que potencialmente le queda a los nemátodos, un análisis exploratorio reveló que existe una correlación entre la cantidad de raíz funcional y la posibilidad de encontrar ciertas categorías de poblaciones.

Raíz no funcional

La cantidad de raíz dañada o enferma que se recolectó en una muestra.

Justificación

La raíz dañada representa el daño que están causando no solo los nemátodos sino otros patógenos, entre ellos los oportunistas que aprovechan las heridas

* TAPA: terreno delimitado por canales y caminos, puede tener de 1 a 4 canales y de 1 a 4 caminos.

causadas por los nemátodos. Si existe un gran porcentaje de raíz dañada es posible que las poblaciones sean bajas o altas, en el primer caso, la población de nemátodos está emigrando porque ya casi no queda alimento, en el segundo es cuando la población va a alcanzar su pico y está agotando el alimento.

Tendencia de la curva de población de los nemátodos

El valor de la pendiente de la curva en el momento de tomar la muestra.

Justificación

Los datos preliminares sugieren que las poblaciones oscilan durante el año, y que en determinado momento alcanzan un pico para luego disminuir; en conjunción con los otros factores, es posible inferir a partir de una muestra de raíz la población presente.

Ejemplo

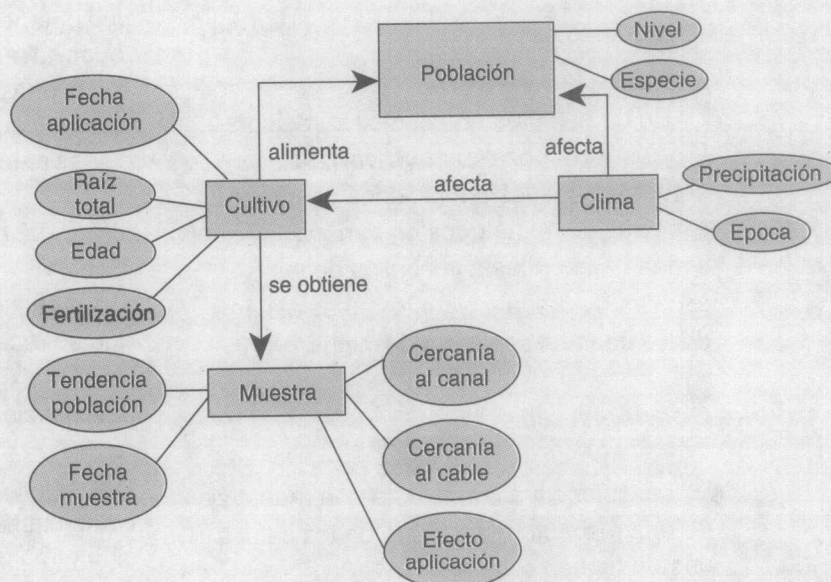
Utilizando la modelación orientada a objetos, se modeló el problema de las poblaciones de los nemátodos como se

observa en la Figura 1; por simplicidad, no se incluyó un objeto muy complejo pero muy importante: el suelo. En el planteamiento de este ejemplo se utilizarán solo los atributos (variables) siguientes: peso de la raíz total en la muestra, porcentaje de raíz funcional y de raíz no funcional, edad de la plantación, época del año, precipitación en la época, precipitación en el mes, cercanía al canal, cercanía al cable, tendencia de la población de nemátodo, efecto última aplicación de nematicida e influencia de última aplicación de fertilizante. Note que la justificación de las dos últimas variables se deriva de las anteriores.

Los valores de las variables no difusas son traducidos a un lenguaje difuso, debido a que estudios preliminares sugieren que las relaciones entre las diferentes variables se dan en ámbitos (Torres & Barboza, datos sin publicar) y no en forma de puntos. Los Cuadros 1 a 11 definen los ámbitos de las variables lingüísticas de acuerdo con el criterio de un experto.

En la parte inferior de cada matriz de similitud se define el ámbito permisible de ese atributo con respecto a ese objeto; por razones de simplificación, los ámbitos que aparecen en el ejemplo están en

FIGURA 1. Modelo orientado a objetos para estimar las poblaciones de nemátodos plaga en banano.



CUADRO 1. Ambitos de las variables lingüísticas relativas a peso de raíz total

Variable lingüística	Mínimo (g)	Máximo (g)	Raíz
Poca	0	30	Funcional No funcional
Regular	30	60	Funcional No funcional
Moderada	60	90	Funcional No funcional
Bastante	90	120	Funcional No funcional
Mucha	120		No funcional

CUADRO 2. Ambito de las variables lingüísticas relativas a porcentaje de raíz funcional y no funcional

El peso de la raíz total está compuesto de raíz funcional y raíz no funcional; para normalizar, se expresa la cantidad de esta última en porcentaje.

RAIZ FUNCIONAL

Variable lingüística	Mínimo (%)	Máximo (%)
Poca	0	25
Regular	25	60
Moderada	50	75
Mucha	75	100

RAIZ NO FUNCIONAL

Variable lingüística	Mínimo (%)	Máximo (%)
Poca	0	25
Regular	25	60
Moderada	50	75
Mucha	75	100

Los ámbitos de las variables lingüísticas para la edad de la plantación, son dependientes de la especie de nemátodo que se está considerando, por lo que se tendría que definir una tabla de similitud para cada especie.

CUADRO 3. Ambito de las variables lingüísticas relativas a edad de la plantación (Radophulus)

Variable lingüística	Mínimo (años)	Máximo (años)
Joven	0	5
Adulta	5	8
Vieja	8	

CUADRO 4. Ambito de las variables lingüísticas relativas a época del año

Variable lingüística	Inicio (mes)	Final (mes)	Humedad época
Lluviosa	Abril	Julio	Muy seca Seca ± Seca Húmeda Muy húmeda
Veranillo	Julio	Agosto	Muy seca Seca ± Seca Húmeda Muy húmeda
Muy lluviosa	Agosto	Noviembre	Muy seca Seca ± Seca Húmeda Muy húmeda
Verano	Noviembre	Abril	Muy seca Seca ± Seca Húmeda Muy húmeda

CUADRO 5. Ambito de las variables lingüísticas relativas a precipitación en la época (lluviosa)

Variable lingüística	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	PPTA mes
Muy seca	0	250	Muy poca Poca Regular Bastante Mucha
Seca	250	500	Muy poca Poca Regular Bastante Mucha
± seca	500	750	Muy poca Poca Regular Bastante Mucha
Húmeda	750	1000	Muy poca Poca Regular Bastante Mucha
Muy húmeda	1000		Muy poca Poca Regular Bastante Mucha

En cada época puede variar el grado de humedad (la cantidad de lluvia caída) así que habrá una tabla para cada época, y dentro de cada una, la distribución de las lluvias puede variar mensualmente, por eso se define una tabla para la lluvia caída en el último mes; existe una tabla para cada mes.

CUADRO 6. Ambito de las variables lingüísticas relativas a precipitación en el mes (mayo)

Variable lingüística	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Poca	0	50
Regular	100	150
Bastante	150	200
Mucha	200	250

CUADRO 7. Ambito de las variables lingüísticas relativas a cercanía al canal

Variable lingüística	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Mucha	0	10
Regular	10	15
Poca	15	

CUADRO 8. Ambito de las variables lingüísticas relativas a cercanía al cable

Variable lingüística	Mínimo (m)	Máximo (m)
Mucha	0	5
Regular	5	10
Poca	10	

CUADRO 9. Ambito de las variables lingüísticas relativas a tendencia de la población de nemátodo

Variable lingüística	Pendiente curva
Creciente	>0
Constante	=0
Decreciente	<0

CUADRO 10. Ambito de las variables lingüísticas relativas a efecto de la última aplicación de nematicida

Variable lingüística	Mínimo (m)	Máximo (m)
Letal	0	15
Nematostática	15	30
Inocua	30	

En realidad tanto el efecto del nematocida como la influencia del fertilizante dependen de la precipitación, aquí se supone que al considerar la precipitación de la época y del mes se modula esta variación.

CUADRO 11. Ambito de las variables lingüísticas relativas a influencia de la última aplicación fertilizante

Variable lingüística	Mínimo (días)	Máximo (días)
Fuerte	0	10
Moderada	10	20
Débil	20	30

función de poder obtener una respuesta de alta población de *Radophulus* en una consulta.

CONCLUSIONES

El enfoque de esta investigación ha sido utilizar el paradigma de orientación a obje-

tos y la teoría de lógica difusa, en particular el modelo de George *et al.*⁷, para mostrar que un problema agronómico concreto se puede modelar mediante esta tecnología.

El siguiente paso será utilizar los datos de un estudio geoestadístico de las poblaciones de nemátodos parásitos en banano, actualmente en curso, para

CUADRO 12. Resumen de resultados

RAIZ TOTAL

Variable lingüística	Poca	Regular	Moderada	Bastante	Mucha
Poca	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1
Regular	0,7	1,0	0,7	0,5	0,3
Moderada	0,5	0,7	1,0	0,7	0,5
Bastante	0,3	0,5	0,7	1,0	0,7
Mucha	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0

Raíz total = {Bastante mucha}

RAIZ FUNCIONAL

Variable lingüística	Poca	Regular	Bastante	Mucha
Poca	1,0	0,7	0,5	0,3
Regular	0,7	1,0	0,7	0,5
Moderada	0,5	0,7	1,0	0,7
Mucha	0,3	0,5	0,7	1,0

Raíz funcional = {Moderada, regular}

RAIZ NO FUNCIONAL

Variable lingüística	Poca	Regular	Moderada	Mucha
Poca	1,0	0,7	0,5	0,3
Regular	0,7	1,0	0,7	0,5
Moderada	0,5	0,7	1,0	0,7
Mucha	0,3	0,5	0,7	1,0

Raíz no funcional = {Moderada, mucha}

Continúa en la siguiente página

Continuación del Cuadro 12

EDAD PLANTACION

Variable lingüística	Joven	Adulta	Vieja
Joven	1,0	0,5	0,1
Adulta	0,5	1,0	0,7
Vieja	0,1	0,7	1,0

Edad plantación = {Adulta, joven}

EPOCA

Variable lingüística	Lluviosa	Veranillo	Muy lluviosa	Verano
Lluviosa	1,0	0,7	0,9	0,3
Veranillo	0,7	1,0	0,7	0,4
Muy lluviosa	0,9	0,7	1,0	0,5
Verano	0,3	0,4	0,5	1,0

Epoca = {Lluviosa, veranillo, muy lluviosa}

PRECIPITACION DE LA EPOCA

Variable lingüística	Muy seca	Seca	± seca	Húmeda	Muy húmeda
Muy seca	1,0	0,7	0,5	0,2	0
Seca	0,7	1,0	0,7	0,5	0,2
± Seca	0,5	0,7	1,0	0,7	0,5
Húmeda	0,2	0,5	0,7	1,0	0,7
Muy húmeda	0	0,2	0,5	0,7	1,0

Precipitación de la época = {± seca, húmeda, muy húmeda}

PRECIPITACION DEL MES

Variable lingüística	Poca	Regular	Bastante	Mucha
Poca	1	0,75	0,5	0,25
Regular	0,75	1	0,75	0,5
Bastante	0,5	0,75	1	0,75
Mucha	0,25	0,5	0,75	1

Precipitación del mes = {Regular, bastante}

CERCANIA CANAL

Variable lingüística	Mucha	Regular	Poca
Mucha	1	0,5	0
Regular	0,5	1	0,5
Poca	0	0,5	1

Cercanía canal = {Mucha}

Continúa en la siguiente página

Continuación del Cuadro 12

CERCANIA CABLE

Variable lingüística	Mucha	Regular	Poca
Mucha	1	0,5	0
Regular	0,5	1	0,5
Poca	0	0,5	1

Cercanía cable = {Mucha, regular}

TENDENCIA POBLACION DE NEMATODO

Variable lingüística	Creciente	Constante	Decreciente
Creciente	1	0,5	0
Constante	0,5	1	0,5
Decreciente	0	0,5	1

Tendencia población de nemátodo = {creciente, decreciente}

EFFECTO ULTIMA APLICACION DE NEMATICIDA

Variable lingüística	Letal	Nematostático	Inocuo
Letal	1	0,5	0
Nematostático	0,5	1	0,5
Inocuo	0	0,5	1

Efecto última aplicación de nematicida = {inocuo}

INFLUENCIA ULTIMA APLICACION DE FERTILIZANTE

Variable lingüística	Fuerte	Moderada	Débil
Fuerte	1	0,5	0
Moderada	0,5	1	0,5
Débil	0	0,5	1

Influencia última aplicación de fertilizante = {Fuerte, moderada}

discernir las relaciones entre los diferentes factores que determinan las poblaciones de nemátodos, para que el modelo de inferencia pueda ser una herramienta analítica de apoyo en la toma de decisiones para el experto, a la hora de la aplicación del nematicida.

Entre las ventajas de aplicar este modelo están: representar y organizar claramente para el agrónomo, los diferen-

tes factores que determinan las poblaciones, establecer relaciones entre ámbitos más que entre puntos como lo hacen los modelos tradicionales, pues así lo sugieren algunos análisis realizados en fincas bananeras.

El estudio realizado, sugiere que se pueden hacer algunos refinamientos a esta tecnología respecto a la definición de la función de pertenencia, mediante el uso

de funciones simétricas, asimétricas, funciones predefinidas acordes al contexto, así como "cluster analysis" difuso y el uso de análisis de factores que sirvan como herramienta de apoyo al criterio del experto.

Se ha detectado también, que no existe un estándar sobre la forma en que se debe almacenar la información difusa, por tanto es un área que está abierta a la investigación. Asimismo, la recuperación difusa es un problema que actualmente se encuentra en investigación y que causa una gran complejidad a nivel de la programación de los operadores difusos, porque

implica dos pasos: la traducción de la consulta en términos de atributos (valores difusos) y luego la aplicación del operador difuso.

Un problema serio de la tecnología es la dificultad para definir las variables lingüísticas, sobre todo debido a que los expertos opinan diferente de los límites de las categorías, así como en cuanto al número de variables y la semántica de éstas.

Finalmente, se considera que el modelo utilizado puede ampliarse, mediante una caracterización refinada de los atributos que definen la estructura de un objeto como se muestra en el Cuadro 13.

CUADRO 13. Caracterización de los atributos que definen la estructura de un objeto

Objeto	Atributo	Caracterización
Población Nemátodos	Nivel	$N \in [0,1]$
	Especie	Radophulus Meloidogyne Pratylenchus Helicotylenchus
Cultivo	Edad	Tiempo Hijos (agua, espada) Tendencia producción
	Raíz total	Peso Composición Lignificación Componente alimenticio Raíz funcional Raíz no funcional Fertilización
	Fecha aplicación fertilizante	DD/MM/AA
	Fecha aplicación nematicida	DD/MM/AA
Clima	Precipitación	Cantidad lluvia Intensidad Días con lluvia
	Epoca	Meses Fenómenos naturales Precipitación acumulada

Continúa en la siguiente página

Objeto	Atributo	Caracterización
Muestra	Tendencia población Nematodos	Epoca Pendiente curva población Pico población
	Fecha muestra	DD/MM/AA
	Cercanía canal	Distancia
	Cercanía cable	Distancia
	Efecto aplicación Nematicida	Cantidad aplicada Producto aplicado Modo aplicación

LITERATURA CITADA

- Buckles, B. P.; Petry, F. E.; Sachar, H. S. *Design of similarity-based relational databases*. Artículo no publicado, s.f.
- Buckles, B. P.; Petry, F. E. *Query languages for fuzzy databases*. Artículo no publicado, 1992.
- Burrough, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, 477-492, 40, 1989.
- Coad, P.; Yourdon, E. *Object-Oriented Analysis*. Yourdon Press, New Jersey, 1990.
- Edan, Y.; Grinspan, P.; Maltz, E.; Kahn, H. Fuzzy logic applications in the dairy industry. *Proceedings of the 1992 International Winter Meeting of The American Society of Agricultural Engineers*, 17 p., Paper No. 92-3600, 1992.
- Francl, L. J. Multivariate analysis of selected edaphic factors and their relationship to *Heterodera glycines* population density. *Journal of Nematology*, 270-276, 2, 25, 1993.
- George, R.; Petry, F. E.; Buckles, B. P. Uncertainty modeling in Object-oriented geographical information systems. *Conference on Database and Expert System Applications*, s.p., 1992.
- Ichikawa, T.; Hirakawa, M. ARES: A relational database with the capability of performing flexible interpretation of queries. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 624-633, 5, SE-12, 1986.
- McBratney, A. B.; Moore, A. W. Applications of fuzzy sets to climatic classification. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165-185, 35, 1985.
- Prade, H.; Testemale, C. Traitement de questions vagues dans une base de données imprécises (1). *L'informatique professionnelle*, 65-84, 27, 1984.
- Prade, H.; Testemale, C. Traitement de questions vagues dans une base de données imprécises (2). *L'informatique professionnelle*. 49-66, 27, 1984.