UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Visión Electrónica

Más que un estado sólido

http: revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index

VISIÓN ELECTRÓNICA

Visión De Caso

Modelo neuro difuso para representar la expansión de la broca en cafetales colombianos

Neuro Fuzzy model to represent the coffee berry borer expansion at colombian coffee fields

***Nychol Bazurto Gómez*[a], *Carlos Alberto Martínez Morales*[b], *Helbert Eduardo Espitia Cuchango*[c]**

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:
Enviado: Septiembre de 2014
Recibido: Octubre de 2014
Aceptado: Enero de 2015

Palabras clave:
ANFIS
Broca del café
Temperatura
Riesgo de proliferación

RESUMEN

En el presente documento, se propone un modelo basado en ANFIS para determinar el riesgo de proliferación de la broca del café en el contexto colombiano, verificando su efectividad en comparación a datos reales recolectados por el ICA en un estudio del Manejo Integral de la Broca. Como paso inicial, se determinaron cuatro variables de entrada y se empleó un modelo difuso (realizado en otro trabajo), incluyendo factores de: temperatura, altitud, edad del cultivo y calidad de recolección. Continuo a esto, se elaboró la propuesta teniendo: un conjunto de 144 reglas y 20 épocas de entrenamiento, cuyos resultados fueron satisfactorios y cercanos al nivel de infestación real, cumpliendo con el objetivo de generar información al respecto de este problema empleando técnicas ingenieriles.

CC BY NC ND

Keywords:
ANFIS
Coffee berry borer
Temperature
Proliferation risk

ABSTRACT

In this paper, we propose an ANFIS model based that verify their effectiveness compared to real data to determine the coffee berry borer proliferation risk in a colombian context, verifying its effectiveness compared to real data collected by the ICA in a study of the Integrated Management of Broca. As an initial step, four input variables are determined and a fuzzy model (made in another job), including factors were used: temperature, altitude, age and quality of the crop harvesting. A set of 144 rules and 20 times of training, the results were satisfactory and close to the actual infestation level, fulfilling the target of generating information regarding this problem by using engineering techniques.

[a]Estudiante de Ingeniería de sistemas, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Grupo de investigación Modelamiento en ingeniería de sistemas: Universidad Distrital, Colombia. email: nyah713@hotmail.com ,nbazurtog@correo.udistrital.edu.co

[b]Estudiante de Ingeniería de sistemas, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Grupo de investigación Modelamiento en ingeniería de sistemas: Universidad Distrital, Colombia. e-mail:carlosmart626@gmail.com, caralmartinezm@correo.udistrital.edu.co

[c]Ingeniero electrónico, Ingeniero Mecatrónico, Especialista en Telecomunicaciones Móviles, Magister en Ingeniería Industrial, Magister en Ingeniería Mecánica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. e-mail: heespitiac@udistrital.edu.co

Citar este artículo como: N. Bazurto, C. A. Martínez & H. E. Espitia, "Modelo neuro difuso para representar la expansión de la broca en cafetales colombianos". Visión Electrónica, algo más que un estado sólido, vol. 8, No. 2, 137-143, julio-diciembre 2014.

1. Introducción

La economía colombiana posee productos claves en el área de exportación, como son el carbón, el petróleo y sus derivados, el ferroníquel y el café. Este último ha simbolizado desde Enero a Agosto del 2013 aproximadamente 1'231.905 miles de dólares [1] (3,17% del PIB nacional) y además tuvo la mayor dinámica del PIB agrícola, con un 19.1% en el tercer trimestre del 2012 [2], por ende es un producto cuya producción debe buscarse sea óptima. Sin embargo, la producción de café se ve afectada por diferentes plagas: la roya, broca, minador de la hoja, entre otros, los cuales causan estragos de diversas formas [3]. Dentro de las amenazas que aquejan este producto, la más relevante es la broca. Un insecto que perfora el fruto reproduciéndose dentro de este y que además, posee la habilidad de trasladarse de manera aérea [4–6], afectando a finales de los noventa hasta en un 90% la caficultura nacional, trayendo dificultades para las miles de familias que se benefician de dicha actividad [7].

En vista de los niveles de afectación, las diferentes instituciones relacionadas con el área caficultora, desarrollaron técnicas y estudios que promovieran la reducción del impacto del insecto, surgiendo así el MIB (Manejo Integrado de la Broca), estudio que fundamentó la incidencia del clima (temperatura y altitud) junto con la mala recolección del fruto, dando unas pautas que redujeran el ataque de la plaga [8]. Sin embargo, en esta área los modelos realizados para la descripción del movimiento del insecto son limitados, en vez de eso, se enfocan en el crecimiento de la población y factores que afectan su dinámica como la competencia entre especies más no en la determinación del riesgo de proliferación dado según ciertas características [9, 10].

Teniendo estas circunstancias, se plantea un sistema empleando ANFIS [12, 13], basado en un modelo realizado anteriormente [14] (como parte de una colección de técnicas a ser aplicadas a este problema) donde se corroboró la incidencia del clima y de la transición de fenómenos del niño y la niña en cuanto a alzas en el riesgo de infestación [15–17]. Los factores considerados en el modelo, coinciden con los propuestos en el MIB realizado por el ICA: Temperatura, altitud, edad del cultivo y calidad de recolección. A continuación se hará una breve consideración del comportamiento de la plaga y ciertas características de la misma, posteriormente se expondrá una sección al respecto de la técnica a emplear, se explicará el modelo realizado (tanto sus variables como la implementación) y finalmente se mostrarán los resultados con el análisis correspondiente al comparar con índices de riesgo recopilados en el estudio MIB, por departamento cafetero en diversos años, específicamente 1998-2002.

2. Comportamiento y ciclo de vida de la plaga

Como se menciona anteriormente la broca es una plaga que ataca a los frutos del café (de hecho es la más importante que le afecta), y los procesos que se han procurado incentivar por medio del manejo integral de la broca, pueden lograr un ahorro de US 120 millones de dólares anuales, viéndose así la significancia del control de esta plaga y las perdidas monetarias que representa [14].

Los ciclos de vida manejado por este insecto son: huevo, el cuál dura incubándose aproximadamente 7.6 días, prosigue el estado larva (15 y 19 días, para macho y hembra respectivamente), prepupa y pupa (6.4 días) cerrando el ciclo dentro del huevo en un estimado de 28 días aproximadamente [4–6].

Según los estudios realizados por Cenicafé, en la broca se generan habitualmente un mayor número de hembras que machos (10:1), lo cual facilita su proliferación, en vista que son las hembras las que pueden volar, además dependiendo del clima que se presente, estas volarán o no. Irónicamente se pensaría que por el hecho de que la lluvia promueve la migración del insecto a otras plantas se propagaría en temporadas con alta precipitación, pero de forma contraproducente cuando realizan los vuelos justo en este tipo de condiciones, corren el riesgo de morir en la perforación del nuevo fruto seleccionado, así que realmente las condiciones propicias serían las de un clima cálido después de una temporada de lluvia, existiendo la humedad necesaria y la temperatura requerida para elevar su población.

Existen cuatro posiciones de la broca del café [4] clasificadas en A, B, C y D (por Cenicafé) siendo respectivamente equivalentes a: Inicio de la perforación, en el canal de penetración, inicia la perforación de la almendra y dentro de la almendra con descendencia. Sin embargo según la edad del fruto, esta tarda más en entre los lapsos de cada posición, además de que aquí se encuentran ciertos de los factores que se trabajarán en el modelo, como lo serán el clima y la altitud, evitando o generando condiciones de riesgo para la plaga, y la recolección del fruto, la cual en caso deje un número considerable de frutos maduros con respectos a los verdes facilitará la expansión.

3. Sistemas neurodifusos y ANFIS

Generalmente, la simulación de sistemas biológicos ha sido un desafío en vista de la poca precisión de los datos (muestreo de comportamiento animal, bacterias con variabilidad alta), destacando ciertos patrones de comportamiento que vienen a ser la clave de los modelos a desarrollaren esta área. En ese sentido, es propicio un sistema difuso, que mantiene la significancia (el comportamiento clave) perdiendo un tanto de precisión, sin

embargo dichos modelos presenta un inconveniente: no poseen una capacidad de aprendizaje clara, lo cual dificulta la labor en cuanto a tener que establecer las reglas y conjuntos de pertenencia de un conjunto de datos que sirvan de entrenamiento [11]. Por otro lado, las redes neuronales son otro elemento fuerte en representación de sistemas, que presentan desventajas en cuanto la carencia de descripciones lingüísticas (que los sistemas difusos si poseen) [12]. De allí se inspiran los sistemas neurodifusos (ANFIS Adaptative Network-based in Fuzzy-InferenceSystems), desarrollados en 1993 por J. R. Jang, permitiendo la combinación de fortalezas de los dos modelos, destacando su capacidad adaptativa (como las redes neuronales, empleando los mismos métodos de entrenamiento que estas), dando paso a su aplicación en diversas áreas [13]. En esencia, el modelo ANFIS posee ciertas entradas, descritas por funciones de pertenencia (característica que toma de la lógica difusa), las cuales a su vez se rigen por un conjunto de reglas, que son generadas automáticamente (reglas tipo Takagi-Sugeno), según las entradas dadas. Esto a su vez alimenta una salida que también está descrita en funciones de pertenencia, que conllevan a una función. Estas partes serán tomadas como neuronas interconectadas, que reciben cierta cantidad de entrenamiento (épocas) y permiten realizar el ajuste del sistema (expresando así el sistema difuso como una red adaptativa).

4. Propuesta del modelo neuro difuso

A continuación se justificará la escogencia de las variables a usar y las consideraciones en cuanto a los rangos propuestos en el modelo difuso antiguo [14], se debe tener en cuenta que la forma en que el modelo difuso para el ANFIS se realiza (descrito en la sección 4.2), puede recibir modificaciones en dichos rangos.

4.1. Variables

Según los estudios realizados por parte de entidades agronómicas y relacionadas con la producción de café en Colombia [8] [15–17], el análisis de dicha información y los resultados obtenidos del modelo anterior [13], se resaltaron como variables: temperatura, altitud, calidad de recolección y edad del cultivo.

Los factores con mayor afectación en el comportamiento de la broca son la temperatura y altitud, donde las variaciones climáticas generan las condiciones de humedad adecuadas. Adicionalmente, la edad del cultivo y calidad de recolección permiten el incremento de la incidencia de la broca, pues están directamente relacionadas con la cantidad de frutos que se dejan en el árbol ysus alrededores. A medida que incrementa la edad del cafetal aumenta la cantidad de frutossin cosechar y si la calidad de recolección de estos no es buena esto empeora (se recuerda es manual dicha recolección). Teniendo en cuenta esto y el éxito obtenido con la técnica anterior (modelo difuso) con las mismas variables, se consideran adecuadas para el presente trabajo, describiéndolas:

- **Temperatura:** Las característica de vida del insecto y su comportamiento, indican que los lugares con un clima seco favorecen el desarrollo de esta plaga y fortalece su perforación en el fruto, por lo cual, Cenicafé determinó ciertos niveles de acción de este con respecto a ciertas temperaturas, teniendo [5]:

  - Situación crítica: Temperatura media $> 21\,C$
  - Situación moderada: Temperatura media entre $20\,C$ y $21\,C$
  - Situación Baja entre $19\,C$ y $20\,C$
  - Situación Nula: Temperatura $< 19\,C$

  Se debe tener claro, que la temperatura general se puede ver afectada por los fenómenos climáticos que se presentan en el país: El niño y la niña.

- **Altitud:** Generalmente el clima de un lugar se relaciona con este factor, influyendo en la temperatura presente, propiciando mayor o menor impacto de los fenómenos climáticos en cada región (niño-niña), pero la consideración de los factores, clima y altitud en definitiva es necesario tenerlos como variables individuales [17].

- **Edad del cultivo:** El cultivo inicialmente no puede producir frutos sino después del primer año, lo cual no permite una propagación de la broca.

- **Calidad de la recolección:** La cantidad de granos que queden en cada planta se ha calificado para el MIB [8] teniendo una calidad buena, regular o deficiente. Los rangos que manejan son (por árbol):

  - Calidad de recolección buena: Menos de 5 frutos.
  - Calidad de recolección regular: Entre 5 y 10 frutos.
  - Calidad de recolección deficiente: Mas de 10

  Incluyendo todo tipo de fruto (maduro, verde) y en las ramas o suelo. Este factor incrementa la posibilidad de migración, en cuanto que las hembras buscarán nuevos frutos para perforar, estén en el suelo o la planta.

4.2. Modelo

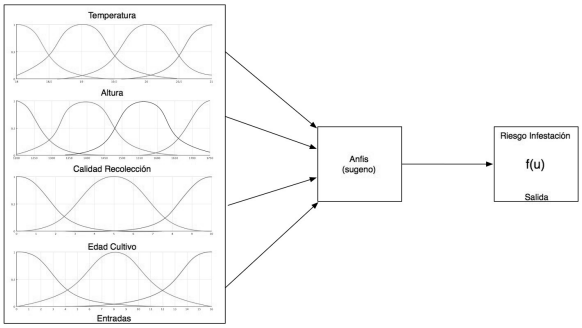
El modelo neuro difuso propuesto, se inicia generando un modelo difuso sin entrenamiento.Los cuatro universos de entrada (Figura 2), corresponden a las variables: temperatura, edad del cultivo, altitud y calidad de recolección. Dichas variables vienen a estar descritas por sus respectivos conjuntos de pertenencia (planteados de dicha forma por los estudios realizados alrededor de las variables consideradas en la sección anterior, donde ciertos rangos de cada variable propician o no la expansión) que son representados por la conexión a nodos blancos, variando según la cantidad de funciones que relacionan (la temperatura se maneja por medio de cuatro rangos, así que se asocia a cuatro nodos), luego, la parte de la red neuronal se involucra para realizar un aprendizaje con respecto al modelo difuso y los datos de prueba (indicando que tendrá 20 épocas de entrenamiento) , ajustando sus funciones de pertenencia según cada caso de departamento escogido (ver sección 5) y modificando los rangos respecto a la gama de datos recibidos.

El conjunto de reglas que guiará su desempeño es de 144, afectando al final la función de salida correspondiente al riesgo de infestación de la broca (Figura 1) y generando una estructura de la red neuronal de 323 nodos y 186 parámetros.

5. Datos por departamento

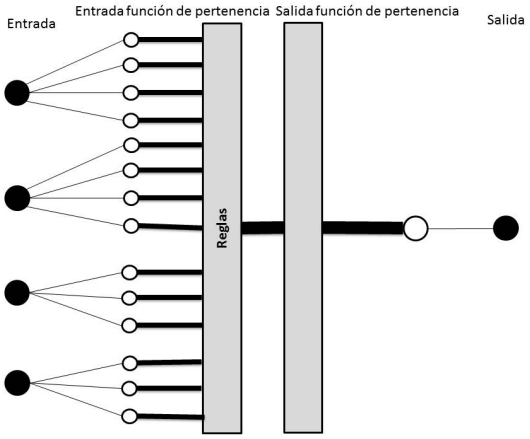
Según los datos recolectados por el estudio del MIB [8], donde se especifica por departamento un riesgo de infestación para cada una de las cinco etapas (1998-2002), se buscó realizar pruebas y ajuste al modelo, empleando los datos del departamento de Antioquia (Tabla 1), Caldas (Tabla 2), Boyacá (Tabla 3) y Valle (Tabla 4), estos datos se consideraron adecuados, debido a que cubrían los tres escenarios base de infestación alta, media y baja, además de otros intermedios entre estos. Los datos tomados del estudio fueron para las variables de edad del cultivo y calidad de recolección, teniendo que identificar altitud y temperatura de la zona, destacando el hecho de que esta última, varía según los fenómenos climáticos presentados en cada etapa, realizándose una verificación de la variación climática en dichos años con respecto a la promedio. Para esto se eligió una zona (municipio) representativo del departamento por su actividad caficultora como fue, Moniquirá para Boyacá, Pueblo Rico para Antioquia, Chinchiná para Caldas y Sevilla para Valle, tomando su altitud como dato complementario y su temperatura promedio, desviando este dato según el fenómeno que se dio en cada año (Figura 3).

Figura 1. Modelo ANFIS propuesto.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Estructura interna del ANFIS.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Datos para el departamento de Antioquia.

Temperatura	Altitud	Recolección	Edad	Riesgo
19,6320	1748,54	2,66	5,97	4,16
18,8520	1748,54	2,82	5,52	2,02
18,9520	1748,54	2,81	4,93	2,29
19,1720	1748,54	2,56	4,29	3,58
19,1220	1748,54	2,90	4,12	3,36

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 2. Datos para el departamento de Caldas.

Temperatura	Altitud	Recolección	Edad	Riesgo
19,6320	1378	1,63	3,83	4,30
18,0520	1378	2,63	3,55	2,43
18,9520	1378	2,60	4,79	4,08
17,7720	1378	2,46	3,80	2,13
18,1220	1378	1,95	3,64	2,80

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 3. Datos para el departamento de Boyacá.

Temperatura	Altitud	Recolección	Edad	Riesgo
18,6320	1700	2,23	9,40	1,97
19,2520	1700	2,17	9,47	3,49
19,2820	1700	2,36	12,20	3,61
22,1720	1700	2,08	14,35	8,35
20,3220	1700	1,12	10,62	5,31

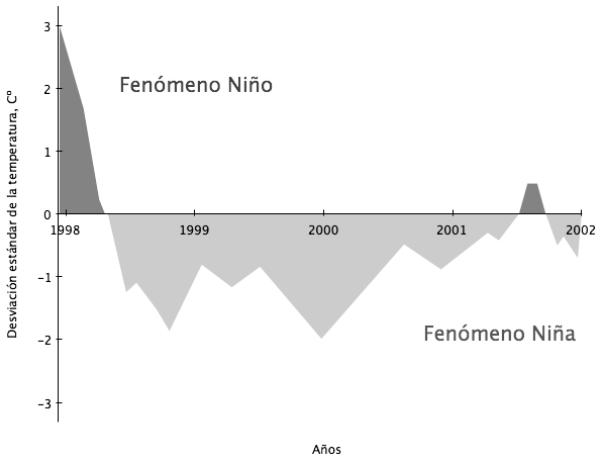
Fuente: Elaboración propia de los autores.

Tabla 4. Datos para el departamento de Valle del Cauca.

Temperatura	Altitud	Recolección	Edad	Riesgo
20,6320	1612	2,61	5,09	5,73
19,8520	1612	2,59	5,50	5,59
19,9520	1612	2,62	5,26	3,19
20,1720	1612	2,64	5,70	5,01
20,1220	1612	2,82	5,38	4,71

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Figura 3. Estructura interna del ANFIS.



Fuente: elaboración propia.

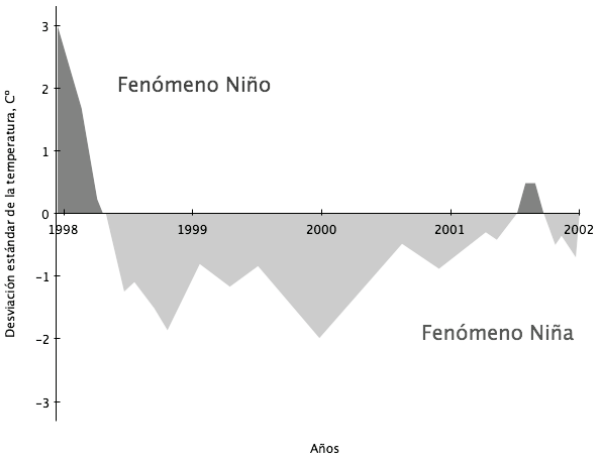
6. Resultados y análisis

Efectuando la ejecución de dicho modelo, se generó una diferencia entre los datos reales y los simulados ilustrados en el Tabla 5 por departamento, respecto a cada una de las fases (1998-2002), donde se puede constatar la aproximación del modelo de manera contundente, generando variaciones por debajo de la unidad, en cuanto los datos reales (medidos por el ICA [7]) y los obtenidos. Se aclara que dentro de las limitaciones que se tenían en el momento de realización del presente trabajo eran dichos datos, sin embargo, se espera a futuro contrastar con datos recientes.

$$error = riesgo\ simulado - riesgo\ real \qquad (1)$$

La ecuación (1) describe la forma en que el error fue calculado, donde el riesgo simulado es el valor producido por la simulación del sistema neurodifuso, según los datos ingresados y riesgo real, es el valor dado por el estudio del ICA de manejo integrado de la broca (MBI) [8], visibles en los datos por departamento (Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4).

Figura 3. Estructura interna del ANFIS.



Fuente: elaboración propia.

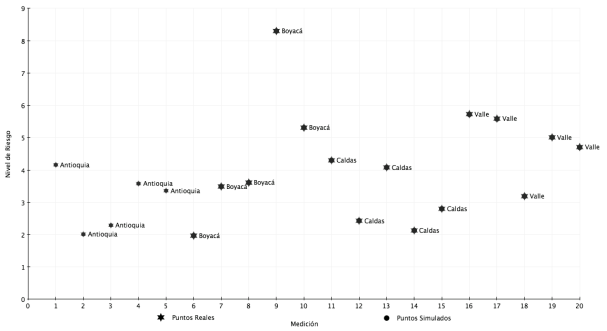
Tabla 5. Error entre el nivel de riesgo real y el simulado.

Depto	Riesgo Real	Riesgo Simulado	Error
(Medición 1-5) Antioquia	4,16	4.1601	0.0001
	2,02	2,0185	0.0015
	2,29	2,2932	0.0032
	3,58	3,5798	0.0002
	3,36	3,3584	0.0016
(Medición 6-10) Caldas	4,30	4,3000	0.0000
	2,43	2,4299	0.0001
	4,08	4,0800	0.0000
	2,13	2,1303	0.0003
	2,80	2,7998	0.0002
(Medición 10-15) Boyacá	1,97	1,9700	0.0000
	3,49	3,4900	0.0000
	3,61	3,6100	0.0000
	8,35	8,3500	0.0000
	5,31	5,3100	0.0000
(Medición 15-20) Valle	5,73	5,7297	0.0003
	5,59	5,5885	0.0015
	3,19	3,1917	0.0017
	5,01	5,0104	0.0004
	4,71	4,7095	0.0005

Fuente: Elaboración propia de los autores.

La Figura 4 muestra por medio de una gráfica el comportamiento de los datos anteriores.

Figura 4. Gráfica datos simulados vs reales.



Fuente: elaboración propia.

7. Conclusiones

El modelo ANFIS logró resultados aproximados a los recolectados por el estudio del ICA, demostrando la efectividad y precisión para la dinámica de la broca, por parte de dicha técnica, presentando ventaja en cuanto a la fácil adaptación de los conjuntos de pertenencia y reglas, respecto a los datos.Además, se verificó la trascendencia de la temperatura en el comportamiento de la plaga, ratificando cómo las desviaciones climáticas realizadas por el fenómeno del niño y la niña respecto a la temperatura promedio en cada fase, son de vital consideración para el desempeño del modelo, sin esta consideración el modelo no hubiera ajustado, pues el parámetro de la temperatura fue calculado teniendo en cuenta los fenómenos de ese año (temperatura media de la zona con variación).

Finalmente, se realizará la implementación de técnicas adicionales que complementen la información al respecto de modelos asociados a la broca.

Reconocimientos

Al grupo de investigación: Modelamiento en Ingeniería de sistemas, perteneciente a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Referencias

[1] DANE, Colombia exportaciones de café, carbón petróleo y sus derivados, ferroníquel y no tradicionales según valores y kilos netos, Bogotá, 2013.

[2] DANE, Producto Interno Bruto-Tercer Trimestre de 2012, comunicado de Prensa. Bogotá, 2012, pág. 4.

[3] Federación nacional de cafeteros: centro nacional de investigaciones de café, Manejo de otras plagas del café, Cartilla 15, 2004.

[4] Federación nacional de cafeteros: centro nacional de investigaciones de café, Manejo integrado de la broca, Cartilla 14, 2004.

[5] P. Benavides, “Vuelos de la broca del café durante la cosecha principal” , Brocarta, No 45, 2011.

[6] A. Bustillo, “Una revisión sobre la broca del café, ,Hypothenemushampei(Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia.” , Revista Colombiana de Entomología,vol.32,no.2, Bogotá, .Julio-Diciembre. 2006.

[7] R. Ramírez, “La broca del café en Líbano: Impacto socioproductivo y cultural en los años 90” . Revista de Estudios Sociales, No 32, pp 158-171, abril de 2009.

[8] H. Matheus, M. T. Gaviria and O. Jurado, “Avances en el manejo integrado de la broca del café HypothenemushampeiFerr., en Colombia” , Instituto Colombiano Agropecuario, Marzo de 2004, Colombia.

[9] D. Rodríguez, J. R. Cure, A. P. Gutiérrez, J. M. Cotes and F. Cantor “A coffee agroecosystem model: I. Growth and development of the coffee plant” . EcologicalModelling, vol222, Número 19, pp 3626-3639, Octubre de 2011.

[10] D. Rodríguez, J. R. Cure, A. P. Gutiérrez, J. M. Cotes and F. Cantor “A coffeeagroecosystemmodel: II. Dynamics of coffeeberryborer” . EcologicalModelling, vol248, Número 19, pp 203-214, Enero de 2013.

[11] L. Cuatrecasas, F. Torrell “TPM EN UN ENTORNO LEAN MANAGEMENT: Estrategia competitiva” , Libro., Editorial Profit, Barcelona, España, 2010, pp 250-251.

[12] J. A. Piedra, “Aplicación de los sistemas neurodifusos a la interpretación automática de imágenes satélite” , tesis Ph D., Universidad de Almería, Almería, España, 2005

[13] E. Gómez, N. Obregón and V. Socarras, “Aplicación del modelo neurodifuso ANFIS vs redes neuronales, al problema predictivo de caudales medios mensuales del río Bogotá en Villapinzón.” , Revista Tecnura,Vol 14, No 27, pp 18-29, Julio- Diciembre 2010.

[14] N. Bazurto, C. A. Martínez and H. E. Espitia, “Fuzzy model proposal for the coffee Berry Borer Expansion at Colombian coffee fields” , Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, vol 232, pp 247-252, 2013.

[15] A. Jaramillo, J. Arcila, "Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de el niño y su efecto en la caficultura", Avances técnicos Cenicafé, Número 390, Diciembre 2009.

[16] A. Jaramillo, J. Arcila, "Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura", Avances técnicos Cenicafé, Número 389, Noviembre 2009.

[17] L. M. Constantino, "La broca del café... un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y altitud", Brocarta, No 39, 2010.