

# DETERMINACION DEL GRADO DE INFLUENCIA DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGROPECUARIO CON TECNICAS NEUTROSÓFICAS

Mauricio Amat Abreu<sup>1\*</sup>, Delfín Bernabé Ortega Tenezaca\*, Jorge Jairo Yaguar Mariño\*

\*Universidad Regional Autónoma de los Andes, Puyo, Pastaza, Ecuador.

## ABSTRACT

The climatic change in the planet has directly impacted in agricultural results. Conversely, the changes that humanity has carried out to produce agricultural products has impacted in the climatic changes, e.g., the deforestation. That is why there exist complex causal relationships between the climate and the agriculture. A mathematical tool, which has proved its efficacy to study causal relationships among different variables, is the cognitive map, where such relationships are straightforwardly represented in form of directed graphs. This idea was generalized when fuzzy cognitive maps were introduced, it is there considered that those relationships can be partial. The neutrosophic cognitive maps generalize even more this technique, in such a way that possibility of indeterminacy among the variables, due to ignorance, contradiction, inconsistency or other causes, is considered. This paper aims to study causal relationships among the climatic vulnerability variables in the agricultural sector. For this end, we applied neutrosophic cognitive maps.

**KEYWORDS:** agriculture, climatic change, alimentary security, neutrosophic cognitive map, neutrosophic number.

**MSC:** 03B80, 91B02, 91B06, 97M40.

## RESUMEN

El cambio climático del planeta incide directamente en los resultados agrícolas. También los cambios que la humanidad ha llevado a cabo para poder producir los productos agrícolas han incidido en el cambio climático, como es la deforestación. Es por ello que entre el clima y la agricultura existen relaciones causales complejas. Una herramienta matemática que ha demostrado ser eficaz para estudiar las relaciones causales entre variables son los mapas cognitivos, donde se expresa de manera sencilla las relaciones entre variables, en forma de grafos dirigidos. Esta idea fue generalizada con la creación de los mapas cognitivos difusos, donde se considera que las relaciones entre las variables pueden ser parciales. Los mapas cognitivos neutrosóficos generalizan aún más esta técnica, donde se incluye la posibilidad de indeterminación por ignorancia, contradicción, inconsistencia u otra causa, entre las variables. El objetivo de este artículo es estudiar las relaciones causales entre las variables de vulnerabilidad climáticos del sector agropecuario. Para ello se aplican los mapas cognitivos neutrosóficos.

**PALABRAS CLAVES:** agricultura, cambio climático, seguridad alimentaria, mapa cognitivo neutrosófico, número neutrosófico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El clima es habitualmente definido por los valores estadísticos de las variables meteorológicas (temperatura, precipitaciones, humedad, vientos, etc.);, registrados durante un período de tiempo representativo, en una región. El término “cambio climático” se aplica en referencia a los cambios del sistema climático debidos al incremento de la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero – GEI –como consecuencia de algunas actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, algunos procesos industriales, la agricultura y el cambio en el uso del suelo (deforestación);, véase [1][5][7].

La potenciación del efecto invernadero deriva en el incremento de la temperatura media superficial del planeta, hecho conocido como “calentamiento global”. Dicho fenómeno se produce de manera diferencial a lo largo del planeta y deriva en la alteración de otras variables, como el viento y la precipitación originando lo que se conoce hoy como el fenómeno de “cambio climático”, el cual tiene impactos negativos y positivos en la esfera social, ambiental y económica.

Existen una gran cantidad de trabajos que estudian la influencia del clima en el sector agropecuario. Algunos analizan el efecto del clima en la renta neta (o valor): de la tierra agrícola utilizando información

<sup>1</sup>Email:[up.mauricioamat@uniandes.edu.ec](mailto:up.mauricioamat@uniandes.edu.ec)

de experiencias obtenidas en ciclos anteriores de cultivos. Los autores encuentran que mayores temperaturas en todas las estaciones del año, reducen los valores promedios de las tierras.

Ellos utilizan como variables independientes indicadores climáticos, características del suelo y condiciones socioeconómicas. Los resultados van de ganancias moderadas a grandes pérdidas.

Otros indicadores de vulnerabilidad del sector están asociados a variables sociales y productivas tales como empleo, degradación de suelo, equidad en la distribución de tierras, niveles de riesgo frente a eventos extremos, porcentajes de uso de agua y sistemas de riego y grado de cobertura de seguros agrícolas.

Al analizar estos factores se observa que Ecuador se encuentra en un nivel de vulnerabilidad similar al promedio latinoamericano en varios de estos factores, sin embargo, en algunas de estas variables existe mayor exposición al riesgo. Así, por ejemplo, en el país ya existe cobertura de seguros agrícolas; el porcentaje de uso de agua en la agricultura alcanza el 80% mientras que en el promedio regional es de 63% y el índice de riesgo de exposición a eventos extremos alcanza al 57%, ligeramente superior al del resto de la región.

La economía ecuatoriana continúa siendo altamente dependiente de su sector agropecuario, con la sensibilidad que este sector tiene ante cambios en el clima. Esta importante relación entre lo agropecuario y el clima del Ecuador crea la necesidad de presentar un panorama de la evolución de este sector y la manera de cómo el cambio climático podría generar situaciones adversas para su desarrollo.

La neutrosfía es la rama de la filosofía surgida en 1995 y fundada por Florentin Smarandache, cuyo objetivo es estudiar los entes, teorías, métodos, entre otros, que se relacionen con la neutralidad, véase [12][13]. Específicamente la lógica neutrosófica generaliza otras lógicas, como la lógica difusa, los conjuntos difusos intuicionistas o los conjuntos difusos en forma de intervalo, donde por primera vez se hace referencia a una función de pertenencia de indeterminación. Esta indeterminación puede deberse a contradicciones, inconsistencias, ignorancia, entre otras causas, de la información o el conocimiento.

Los conjuntos difusos fundados por Zadeh generalizan los conjuntos clásicos, [17]. Mientras un elemento o pertenece o no pertenece a un conjunto en su definición clásica, el elemento pertenece al conjunto difuso con cierto grado de pertenencia, esto se define con una función de pertenencia con imagen en el intervalo  $[0, 1]$ , donde en la medida que el valor se acerca más a 0 se interpreta como que el elemento menos pertenece al conjunto y en la medida que se acerca más a 1 se interpreta como que el elemento más pertenece al conjunto. Cuando los conjuntos difusos se sustituyen por proposiciones lógicas se denomina lógica difusa. En este caso se puede definir una función de no pertenencia como la negación de la función de pertenencia y no se considera la indeterminación o la neutralidad.

A partir de los conjuntos difusos se definen los conjuntos intuicionistas difusos ([2]):, donde además de una función de pertenencia se define explícitamente una función de no pertenencia, tal que ambas satisfacen la condición de que su suma es menor o igual a 1. Cuando la suma de ambas es menor estrictamente a 1, existe un margen entre la pertenencia y la no pertenencia, donde se definen con cierto grado los elementos que tienen una pertenencia neutra o indeterminada. No obstante, todas las funciones definidas son dependientes entre ellas.

Los conjuntos neutrosóficos definen explícitamente tres funciones, una de pertenencia al conjunto, una de no pertenencia al conjunto y una tercera de indeterminación, además que las tres son independientes entre sí, por tanto no satisfacen ninguna restricción. Estas pueden expresarse en forma de intervalos. Es por ello que los conjuntos neutrosóficos se convierten en conjuntos difusos, intuicionistas difusos o en forma de intervalo cuando las tres funciones cumplen las restricciones exigidas en cada caso. Adicionalmente, los conjuntos neutrosóficos tienen en cuenta la indeterminación, porque permiten incluir algunos estados lógicos que habían sido marginados, como las paradojas, las inconsistencias, las contradicciones, lo desconocido, entre otros. Esto da como resultado mayor veracidad en la semántica, donde existen tres valores de verdad en lugar de uno o dos, estos se representan de manera independiente.

Los mapas cognitivos neutrosóficos unen los números neutrosóficos con los mapas cognitivos, [8][9][10]. Un mapa cognitivo es la representación por un grafo dirigido de las relaciones causales entre diferentes variables, donde cada vértice representa la variable y cada arista representa la relación de causalidad y el sentido entre dos variables. Adicionalmente, existen los mapas cognitivos difusos, donde la relación de causalidad puede ser parcial. En el caso de los mapas cognitivos neutrosóficos, se añade la posibilidad de indeterminación entre las conexiones. Esto se representa por números neutrosóficos, donde se incorpora un término  $I$  de indeterminación, [14][15][16].

Los mapas cognitivos permiten expresar las relaciones causales entre variables, donde a cada arista se le asocia un peso en el conjunto  $\{-1, 0, 1\}$ , donde 0 significa que no hay relación causal entre las variables, -1 significa que la relación causal es inversa (si una variable aumenta la otra disminuye y viceversa):, y 1 significa que existe una relación causal directa (ambas variables aumentan o ambas disminuyen):, [3]. Estos tres valores no capturan la incertidumbre que existe en estas relaciones causales, es por ello que surgen los Mapas Cognitivos Difusos ([6]):, donde al conjunto anterior de pesos se le introduce una

gradación que se define en el intervalo continuo  $[-1, 1]$ . Los Mapas Cognitivos Neutrosóficos introducen por primera vez la posibilidad de modelar la indeterminación que puede existir en la relación causal entre dos variables, mediante el símbolo  $I$ . En este caso, se puede representar explícitamente el desconocimiento sobre la relación, lo que tiene como ventaja una mayor fidelidad del modelo a la realidad, que se parece más a cómo los seres humanos deciden, en comparación con los modelos anteriores.

El objetivo de este artículo es realizar un análisis de las relaciones causales entre los factores climáticos de vulnerabilidad que inciden en la producción agrícola del Ecuador. Para lograr este objetivo se utilizan los mapas cognitivos neutrosóficos como método que permite representar tales relaciones, incluyendo la indeterminación, que caracteriza a la Neutrosofía. Este estudio fue posible por la evaluación de un grupo de expertos sobre estos temas. Se llega a un orden del peso de la influencia de cada uno de los factores considerados.

Este estudio contribuye a determinar las variables más importantes que afectan en la actualidad a la agricultura ecuatoriana, además de las relaciones entre ellas, y el grado de influencia de cada una. La investigación tiene una importancia crucial para el país, puesto que la economía ecuatoriana es primordialmente agrícola, y la agricultura depende de múltiples factores, sobre todo climáticos, los que están siendo seriamente afectados en todo el planeta. Estos factores afectan económicamente y socialmente a toda la sociedad ecuatoriana. Los resultados de este estudio contribuirán a trazar políticas más eficaces y eficientes en el desarrollo agrícola del país y por tanto para el desarrollo de la sociedad en todas sus dimensiones

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección contiene las principales definiciones de la lógica neutrosófica, además de los números neutrosóficos, los mapas cognitivos neutrosóficos y sus índices. Todas estas son las teorías, métodos y herramientas que servirán para resolver el problema que se aborda en este artículo.

**Definición 1.** ([13]): Sea  $X$  un universo de discurso. Un *Conjunto Neutrosófico* (CN): está caracterizado por tres funciones de pertenencia,  $u_A(x):, r_A(x):, v_A(x): X \rightarrow ]^{-0}, 1^+[$ , que satisfacen la condición  $-0 \leq \inf u_A(x) + \inf r_A(x) + \inf v_A(x) \leq \sup u_A(x) + \sup r_A(x) + \sup v_A(x) \leq 3^+$  para todo  $x \in X$ .  $u_A(x)$ ,  $r_A(x)$  y  $v_A(x)$ : denotan las funciones de pertenencia a verdadero, indeterminado y falso de  $x$  en  $A$ , respectivamente, y sus imágenes son subconjuntos estándares o no estándares de  $]^{-0}, 1^+[$ .

Los *Conjuntos Neutrosóficos de Valor Único*, que se definen a continuación, surgieron con el fin de poder aplicar los CN a problemas reales.

**Definición 2.** ([13]): Sea  $X$  un universo de discurso. Un *Conjunto Neutrosófico de Valor Único* (CNVU):  $A$  sobre  $X$  es un objeto de la forma:

$$A = \{ \langle x, u_A(x):, r_A(x):, v_A(x): \rangle : x \in X \} \quad (1)$$

Donde  $u_A, r_A, v_A : X \rightarrow [0,1]$ , satisfacen la condición  $0 \leq u_A(x) + r_A(x) + v_A(x) \leq 3$  para todo  $x \in X$ .  $u_A(x)$ ,  $r_A(x)$  y  $v_A(x)$ : denotan las funciones de pertenencia a verdadero, indeterminado y falso de  $x$  en  $A$ , respectivamente. Por cuestiones de conveniencia un *Número Neutrosófico de Valor Único* (NNVU): será expresado como  $A = (a, b, c):$ , donde  $a, b, c \in [0,1]$  y que satisface  $0 \leq a + b + c \leq 3$ .

La Lógica Neutrosófica (LN):, propuesta en 1995 por Florentin Smarandache, es una generalización de la lógica difusa, [12]. Según esta teoría, una proposición  $P$  se caracteriza por tres componentes:

$$LN(P) = (T, I, F) \quad (2)$$

Donde la componente  $T$  es el grado de veracidad,  $F$  es el grado de falsedad e  $I$  es el grado de indeterminación. Este grado de indeterminación  $I$  se propone por primera vez como un componente independiente.

Los resultados de los análisis estáticos se dan en forma de *números neutrosóficos*, que son números con la estructura algebraica  $a+bI$ , donde  $I =$  indeterminación. A continuación se dan las definiciones formales de estos conceptos.

**Definición 3.** ([15]): Sea  $R$  un anillo. El *anillo neutrosófico*  $\langle R \cup I \rangle$  es también un anillo, generado por  $R$  e  $I$  bajo la operación de  $R$ , donde  $I$  es un elemento neutrosófico que satisface la propiedad  $I^2 = I$ . Dado un entero  $n$ , entonces,  $n+I$  y  $nI$  son elementos neutrosóficos de  $\langle R \cup I \rangle$  y además  $0 \cdot I = 0$ . Adicionalmente,  $I^{-1}$ , el inverso de  $I$  no está definido.

Un ejemplo de anillo neutrosófico es  $\langle \mathbb{Z} \cup I \rangle$  generado por  $\mathbb{Z}$ .

Otras operaciones con  $I$  son las siguientes:

$$I+I = 2I \text{ y en general } I+I+\dots+I = nI.$$

**Definición 4.** Un *número neutrosófico*  $N$ , se define como un número de la forma siguiente ([16]):

$$N = d + I \quad (3)$$

Donde  $d$  es la parte determinada e  $I$  es la parte indeterminada.

**Ejemplo 1.**  $N = 5+I$ , tiene a 5 como la parte determinada e  $I$  como la parte indeterminada, tal que si  $I = [5; 5,4]$  entonces,  $N = [10; 10,4]$ .

Sean  $N_1 = a_1 + b_1I$  y  $N_2 = a_2 + b_2I$  dos números neutrosóficos, entonces algunas operaciones entre ellos se definen como a continuación:

1.  $N_1 + N_2 = a_1 + a_2 + (b_1 + b_2)I$ : I(adición):;
2.  $N_1 - N_2 = a_1 - a_2 + (b_1 - b_2)I$ : I (resta):,
3.  $N_1 \times N_2 = a_1a_2 + (a_1b_2 + b_1a_2 + b_1b_2)I$ : I (Producto):,
4.  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{a_1+b_1I}{a_2+b_2I} = \frac{a_1}{a_2} + \frac{a_2b_1-a_1b_2}{a_2(a_2+b_2)}I$  (División):.

Una *matriz neutrosófica* es una matriz cuyas componentes son elementos en  $\langle R \cup I \rangle$ .

A partir de esto se pueden generalizar al anillo  $\langle R \cup I \rangle$  las operaciones entre vectores y matrices sobre  $R$ .

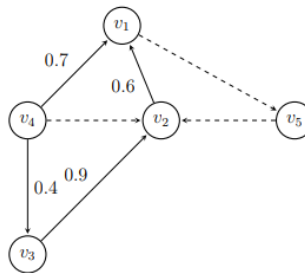
Un ejemplo es el siguiente:

**Ejemplo 2.** Dadas las matrices  $A = \begin{pmatrix} -1 & 2 & -I \\ 3 & I & 0 \end{pmatrix}$  y  $B = \begin{pmatrix} I & 1 & 2 & 4 \\ 1 & I & 0 & 2 \\ 5 & -2 & 3I & -I \end{pmatrix}$ ,

$$AB = \begin{pmatrix} -6I + 2 & -1 + 4I & -2 - 3I & I \\ 4I & 3 + I & 6 & 12 + 2I \end{pmatrix}$$

Un *grafo neutrosófico* es un grafo con al menos una arista neutrosófica que une dos vértices, o sea una arista donde existe indeterminación sobre la conexión entre dos de sus vértices.

Un *mapa cognitivo neutrosófico* (MCN): es un grafo neutrosófico que se utiliza para representar razonamientos causales. Este es una generalización de los mapas cognitivos y los mapas cognitivos difusos, puesto que incluye la posibilidad de indeterminación. Véase un ejemplo en la Figura 1, donde las conexiones de los vértices  $v_4$  a  $v_2$ , de  $v_5$  a  $v_2$  y de  $v_1$  a  $v_5$  se representan con líneas discontinuas, lo que significa que existe indeterminación en estas conexiones.



**Figura 1.** Ejemplo de Mapa Cognitivo Neutrosófico.

Para construir un MCN se siguen los puntos de vista de  $k$  expertos. La matriz de adyacencia colectiva de los expertos se calcula como sigue:

$$E = \mu(E_1, E_2, \dots, E_k) \tag{4}$$

Donde  $\mu$  es un operador de agregación, usualmente la media aritmética.

Las *Medidas de Centralidad* se calculan como números neutrosóficos obtenidos de la matriz de adyacencia del MCN. Estas son:

*Outdegree*, denotada por  $od(v_i)$ , se calcula como la suma por columnas de los valores absolutos de una variable en la matriz de adyacencia neutrosófica. Mide el grado de fuerza acumulada de las conexiones existentes de la variable. Véase la siguiente Ecuación:

$$od(v_i) = \sum_{j=1}^N |c_{ij}| \tag{5}$$

*Indegree*, denotada por  $id(v_i)$ , se calcula como la suma por filas de los valores absolutos de una variable en la matriz de adyacencia neutrosófica. Mide el grado de fuerza acumulada de las variables que llegan a la variable dada. Véase la siguiente Ecuación:

$$id(v_i) = \sum_{j=1}^N |c_{ji}| \tag{6}$$

El *grado total*, denotado por  $id(v_i)$ , que se calcula por la suma de su *indegree* con su *outdegree*. Véase la

Ecuación siguiente:

$$td(v_i) = od(v_i) + id(v_i): \quad (7)$$

Un proceso de *des-neutrosificación* fue propuesto por Salmeron y Smarandache ([11]): y puede aplicarse para dar un orden final. Este proceso provee de un rango de números para la centralidad utilizando como base los valores máximo y mínimo de  $I = [a_1, a_2] \subseteq [0, 1]$ , utilizando la siguiente Ecuación, véase [8]:

$$\lambda([a_1, a_2]) = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (8)$$

Una vez calculado el valor numérico anterior se puede establecer un orden entre  $A = [a_1, a_2]$  y  $B = [b_1, b_2]$ , como se muestra a continuación:

$$A > B \Leftrightarrow \lambda(A) > \lambda(B) \quad (9)$$

Es decir, se prefiere A sobre B si y solo si  $\lambda(A) > \lambda(B)$ .

### 3. RESULTADOS

Como se indicó en la introducción, se mide la vulnerabilidad del sector agropecuario con respecto a las siguientes variables:

1. Empleo,
2. Degradación de suelo,
3. Equidad en la distribución de tierras,
4. Niveles de riesgo frente a eventos extremos,
5. Porcentajes de uso de agua y sistemas de riego,
6. Grado de cobertura de seguros agrícolas.

Todas las variables anteriores se afectan directa o indirectamente por el cambio climático. Adicionalmente se considerarán otros factores que inciden en la vulnerabilidad, estas son las siguientes

7. Aumento de las temperaturas,
8. Variación de la precipitación,
9. Aumento de gases de efecto invernadero.

Estas variables se denotarán por  $v_1, v_2, \dots, v_9$ , siguiendo el orden precedente. Se cuenta con un grupo de cuatro expertos que evalúan con números neutrosóficos las relaciones causales entre las nueve variables anteriores, se utilizó una media de las evaluaciones de los expertos. A partir de ellas se obtuvo la siguiente matriz de adyacencia:

Variable	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$
$v_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$v_2$	-0,75	0	-0,5	0,7	-0,5	-0,4	0	0	0
$v_3$	0,6	0	0	0	I	0,2	0	0	0
$v_4$	0	0	I	0	I	-0,4	0	0	0
$v_5$	0,3	0	0	0	0	0,4	0	0	0
$v_6$	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
$v_7$	-0,3	-0,7	I	0,4	0,9	-0,6	0	I	0
$v_8$	-0,1	I	0	0,3	I	-0,6	I	0	0
$v_9$	-0,1	0,7	0	0,7	0,8	0	0,8	0,8	0

**Tabla 1.** Matriz de adyacencia correspondiente al MCN con los índices de la vulnerabilidad del sector agropecuario.

Se utilizó el software libre Octave 4.2.1 para realizar los cálculos, véase [4]. Este consta de un grupo de paquetes de funciones programadas en lenguaje m de MATLAB, se obtuvo el siguiente resultado:

Variable	$od(v_i):$	$id(v_i):$	$td(v_i):$
$v_1$	0,0	2,65	2,65
$v_2$	2,85	1,4+I	4,25+I
$v_3$	0,8+I	0,5+2I	1,3+3I
$v_4$	0,4+2I	2,1	2,5+2I
$v_5$	0,7	2,2+3I	2,9+3I
$v_6$	0,5	2,6	3,1
$v_7$	2,9+2I	0,8+I	3,7+3I

$v_8$	$1,0+3I$	$0,8+I$	$1,8+4I$
$v_9$	3,9	0,0	3,9

**Tabla 2.** Cálculo de los  $od(v_i)$ ,  $id(v_i)$  y  $td(v_i)$  de las variables que se estudian.

Suponiendo que  $I = [0, 1]$  se tiene la siguiente tabla para  $\lambda(\cdot)$  definida en la Ecuación 8, aplicada a  $td(v_i)$  junto con el orden que le corresponde a cada una de las variables, según la definición del orden dado en la Ecuación 9.

Variable	$\lambda(\cdot)$	Orden
$v_1$	2,65	9
$v_2$	4,75	2
$v_3$	2,8	8
$v_4$	3,5	6
$v_5$	4,4	3
$v_6$	3,1	7
$v_7$	5,2	1
$v_8$	3,8	5
$v_9$	3,9	4

**Tabla 3.** Cálculo de los  $\lambda(\cdot)$  y el orden en importancia correspondiente a las variables que se estudian.

Estos resultados se obtuvieron a partir del siguiente programa en lenguaje m y calculado con Octave 4.2.1.

```
function MCN = MCN(pD,pI):
    %Es una función a la que se le introducen dos matrices: pD es la parte
    %determinada de la matriz de adyacencia. pI es la parte indeterminada de la
    %matriz de adyacencia.
    %Cada elemento pD(i,j): es un elemento en [-1, 1] que significa la relación
    %causal vi implica vj.
    %Cada elemento pI(i,j): = 0 si no hay parte indeterminada en la relación
    %causal vi implica vj. pI(i,j): = 1, si hay parte indeterminada.

    od = sum(abs(pD'))'+sum(pI)':[0, 1];%Cálculo del outdegree
    id = sum(abs(pD))'+sum(pI)':[0, 1]; %Cálculo del indegree
    s = size(pD);
    n = s(1);%Se toma el orden de la matriz de adyacencia.

    for i = 1:n %Cálculo del total degree
        td(i,:) = od(i,:)+id(i,:);% Total degree
        dtd(i) = mean(td(i,:));% Des-neutrosificación del Total Degree
    end
    MCN = dtd;
```

Por tanto se tiene que el orden de importancia de las variables es el siguiente:  $v_7 > v_2 > v_5 > v_9 > v_8 > v_4 > v_6 > v_3 > v_1$ , por tanto se concluye que el factor más influyente y sensible que hay que tener más en cuenta es el “aumento de la temperatura”, mientras que el menos influyente es el empleo, puesto que este último depende de los demás.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente artículo se hizo un estudio de la influencia de los factores ambientales de vulnerabilidad en el sector agrícola en las áreas rurales de Ecuador. Para ello un grupo de expertos emitió su criterio para aplicar un mapa cognitivo neutrosófico. Se obtuvo como resultado que las variables más influyentes son: el “aumento de la temperatura ambiente”, la “degradación del suelo” y el “Porcentajes de uso de agua y sistemas de riego”. Este descubrimiento ayudará a los productores agrícolas y al estado ecuatoriano a tomar las medidas pertinentes para atenuar la situación.

Desde el punto de vista práctico, la identificación de los factores que afectan a la agricultura permitirá trazar políticas más eficaces y eficientes, las cuales de ser exitosas tendrán un impacto económico y social considerable. Desde el punto de vista teórico, se propuso una metodología que es factible de aplicar en investigaciones similares en otros contextos, como en otras regiones o países que afronten problemas similares. Se recomienda repetir el estudio una vez que se hayan implementado las medidas, para comprobar la efectividad de estas.

**RECEIVED: NOVEMBER, 2019.**  
**REVISED: APRIL, 2020.**

## REFERENCIAS

- [1] ALCALDE , J. (2007): **Las mentiras del cambio climático: un libro ecológicamente incorrecto**, LIBROS LIBRES, Madrid
- [2] ATANASSOV, K.T. (1999): Intuitionistic fuzzy sets. En: **Intuitionistic Fuzzy Sets**, 1–137. Physica, Heidelberg.
- [3] AXELROD, R. (2015): **Structure of decision: The cognitive maps of political elites**, Princeton University Press, Princeton.
- [4] EATON, J. W., BATEMAN, D., HAUBERG, S. y WEHBRING, R. (2017): **GNU Octave: A high-level interactive language for numerical computations**, versión 4.2.1. url: <http://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter>.
- [5] KLINK, F. A. y ALCÁNTARA, V. (1994): **De la economía ambiental a la economía ecológica**, Icaria, Barcelona.
- [6] KOSKO, B. (1986): Fuzzy cognitive maps, **International journal of man-machine studies**, 24, 65-75.
- [7] LEMOS FRANCO, G. M. (2018): **El Impacto Económico de la Agricultura y el Efecto del Cambio Climático en el Cantón Babahoyo**, Tesis de Grado para la obtención del Título de Economista de la Facultad de Sistemas Mercantiles de la Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador.
- [8] LEYVA VÁZQUEZ, M. y SMARANDACHE, F. (2018): **Neutrosología: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre**, Pons, Bruselas.
- [9] PÁRRAGA ALAVA, R., MUÑOZ MURILLO, J., BARRE ZAMBRANO, R., ZAMBRANO VÉLEZ, M. I. y LEYVA VÁZQUEZ, M. (2018): PEST Analysis Based on Neutrosophic Cognitive Maps: A Case Study for Food Industry, **Neutrosophic Sets and Systems**, 21, 84-92.
- [10] SALEH AL-SUBHI, S. H., PÉREZ PUPO, I., GARCÍA VACACELA, R., PIÑERO PÉREZ, P. Y. y LEYVA VÁZQUEZ, M. Y. (2018): A New Neutrosophic Cognitive Map with Neutrosophic Sets on Connections, Application in Project Management, **Neutrosophic Sets and Systems**, 22, 63-75.
- [11] SALMERON, J.L. y SMARANDACHE, F. (2008): Redesigning Decision Matrix Method with an indeterminacy-based inference process, **International Journal of Applied Mathematics and Statistics**, 13, 4-11.
- [12] SMARANDACHE, F. (2002): Neutrosophy, a new Branch of Philosophy. **Multiple-Valued Logic / An International Journal**, 8, 297-384.
- [13] SMARANDACHE, F. (2005): **A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability**, 6<sup>ta</sup> Edición., InfoLearnQuest, Ann Arbor,
- [14] VASANTHA KANDASAMY, W. B. y SMARANDACHE, F. (2004): **Basic Neutrosophic Algebraic Structures and Their Application to Fuzzy and Neutrosophic Models**, Hexis, Church Rock.
- [15] VASANTHA KANDASAMY, W. B. y SMARANDACHE, F. (2018): Algebraic Structure of Neutrosophic Duplets in Neutrosophic Rings  $\langle Z U I \rangle$ ,  $\langle Q U I \rangle$  and  $\langle R U I \rangle$ , **Neutrosophic Sets and Systems**, 23, 85-95.
- [16] YE, J. (2017): Bidirectional projection method for multiple attribute group decision making with neutrosophic numbers. **Neural Computing and Applications**, 28, 1021-1029.
- [17] ZADEH, L. A. (1965): Fuzzy sets, **Information and Control**, 8, 338-353.