

# BASES PARA LA ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA EN EL CULTIVO DEL CACAO (*Theobroma cacao*, Lin) POR MEDIO DEL CRITERIO DE EXPERTOS

Base for the agroecological zoning of the cocoa (*Theobroma cacao*, Lin) through the approach of experts

Giclis M. Suárez<sup>✉</sup>, René Florido Bacallao, Francisco Soto Carreño y Alberto Caballero Núñez

**ABSTRACT.** The objective of the present work was to establish the bases for the agroecological zoning of the cocoa (*Theobroma cacao*, Lin) by means of the approach of experts by means of the method Delphi. Experts of different spheres were selected and it was determined the level of experience and the level of each expert's competition regarding the problem related with the definition of the factors that they define the location of the cultivation. This was developed and implemented a system of rounds of questions or questionnaires that emerged from statistical processing of each round thereafter, where parameters were determined: half arithmetic of the evaluation of the experts to each question, standard deviation and variance (dispersion of the evaluations of each question). Starting from these statisticians the variation coefficient was determined (level of agreement) that together with the level of relevance; they constituted the elements discriminates that allowed to propose the variables in the subsequent questionnaires. The results allowed to determine seven experts for consultation rounds of questions, with a level of competition means and high, with valuations average of the competition coefficient (K) similar to 0,89. it was determined that the genetic, socioeconomic factors and the physiographics don't keep relationship with the definition of the place for the development of the cultivation; however, the climatic factors (precipitations and temperature) and the soils (types and depth) they were those of more influence to define the location of the cocoa, and they constituted the main elements of the bases for the agroecological zoning of the cultivation.

**Key words:** *Theobroma cacao*, cacao, zoning, agroecology

**RESUMEN.** El objetivo del presente trabajo fue establecer las bases para la zonificación agroecológica del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio del criterio de expertos mediante el método Delphi. Se seleccionaron expertos de diferentes esferas y se determinó el nivel de experticia y el nivel de competencia de cada experto respecto a la problemática relacionada con la definición de los factores que definen la ubicación del cultivo. Para ello se elaboró y aplicó un sistema de rondas de preguntas o cuestionarios que surgieron del procesamiento estadístico sucesivo de cada ronda, donde se determinaron los parámetros: media aritmética de la evaluación de los expertos a cada pregunta, desviación estándar y varianza (dispersión de las evaluaciones de cada pregunta). A partir de estos estadígrafos se determinó el coeficiente de variación (nivel de concordancia), que unido con el nivel de relevancia, constituyeron los elementos discriminantes que permitieron proponer las variables en los cuestionarios subsiguientes. Los resultados permitieron determinar siete expertos para la consulta de las rondas de preguntas, con un nivel de competencia medio y alto, además de valoraciones promedio del coeficiente de competencia (K) igual a 0,89. Se determinó que los factores genéticos, socioeconómicos y los fisiográficos no guardan relación con la definición del lugar para el desarrollo del cultivo; sin embargo, los factores climáticos (precipitaciones y temperatura) y los edáficos (tipos y profundidad del suelo) fueron los de mayor influencia para definir la ubicación del cacao, y constituyeron los principales elementos de las bases para la zonificación agroecológica del cultivo.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao*, cacao, zonificación, agroecología

M.Sc. Giclis M. Suárez, Investigador Auxiliar, Facultad Agroforestal de Montaña, El Salvador, Universidad de Guantánamo; Dr.C. René Florido Bacallao, Investigador Agregado, del departamento de Informática y las Comunicaciones; Dr.C. Francisco Soto Carreño, Investigador Titular del departamento de Fitotecnia y Dr.C. Alberto Caballero Núñez, Investigador Auxiliar del departamento de Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayaguez, Cuba, CP 32700.

✉ actafgtm@infomed.sld.cu

## INTRODUCCIÓN

Para lograr la zonificación agroecológica de cualquier cultivo, se hace necesario tener en cuenta los criterios que permitan determinar las zonas agroecológicas basadas en los requerimientos de los mismos y en función de su desarrollo fisiológico y productivo. La zonificación

es la sectorización de un territorio con diversos criterios, para identificar unidades geográficas relativamente homogéneas con características físicas, biológicas y socioeconómicas, con potencial ecológico para su evaluación con diversas opciones de uso sostenible (1).

Son varias las vías y métodos científicos utilizados en el mundo para determinar las bases de la zonificación agroecológica para los cultivos. Sin embargo, el empleo de uno u otro método depende del tipo de cultivo, información existente sobre el mismo, nivel de precisión y efectividad respecto al resultado final en los trabajos de investigación.

Existen estudios que han utilizado como criterio la combinación de tres parámetros: balance hídrico, producción de biomasa y calidad de suelos<sup>1</sup>. En la actualidad se han realizado escasos estudios sobre este tema, dentro de ellos los que han utilizado criterios de decisión ofrecidos por especialistas en ciencias agrícolas (2) y los que han utilizado una base de datos a partir de la recopilación de la información existente (3, 4).

En el caso particular del cultivo del cacao en Cuba, existen limitaciones con la disponibilidad de una información histórica y consecutiva que permita cumplir con este objetivo; sin embargo, se cuenta con un elevado nivel de experticia en un grupo representativo de actores que han trabajado el cultivo y que hace posible la utilización de métodos de consulta de expertos para la determinación de los elementos que definen las bases para la zonificación agroecológica del cacao.

Dentro de los métodos de consulta de experto, el Delphi es considerado uno de los más confiables. Este fue creado en la Rand Corporation con el objetivo de elaborar pronósticos a largo plazo, referentes a posibles acontecimientos en varias ramas de la ciencia, la técnica y la política<sup>2</sup>.

A partir de estos elementos se desarrolló el presente trabajo con el objetivo de establecer las bases para la zonificación agroecológica del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio del criterio de expertos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el período comprendido entre marzo y septiembre del 2011 para los estudios de la zonificación agroecológica del cacao en el macizo montañoso Nipe Sagua Baracoa situado en la región nororiental de Cuba.

Para dar cumplimiento al objetivo de este trabajo, se aplicó la metodología Delphi (5) para lo cual fue necesaria la selección de un grupo de especialistas a consultar y la elaboración de los cuestionarios (6).

Para la selección de los especialistas o expertos se analizaron un conjunto de actores que fueran capaces de ofrecer valoraciones conclusivas del problema en cuestión y hacer recomendaciones con un máximo de competencia. Los mismos fueron seleccionados de diferentes ramas relacionadas con el trabajo del cultivo: la investigación, la docencia y la producción. Los criterios para seleccionar los expertos fueron: nivel de competencia, creatividad, disposición a participar en la encuesta, capacidad de análisis y de pensamiento, espíritu colectivista y autocrítico.

El nivel de competencia de los especialistas fue determinado por medio del coeficiente de competencia (K), calculado a partir de la fórmula:

$$K = \frac{1}{2} (k_c + k_a), \text{ donde:}$$

$k_c$ - Coeficiente de conocimiento o información que tiene el especialista acerca del problema, calculado sobre la valoración del propio experto en una escala del 0 al 10.  
 $k_a$ - Coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del especialista, obtenido como resultado de la suma de los puntos alcanzados a partir de una tabla patrón con las diferentes fuentes de argumentación.

Para la elaboración del cuestionario se expusieron los criterios que definen las zonas agroecológicas para el desarrollo del cultivo. Para la elaboración del primer cuestionario que originó las posteriores rondas de preguntas se tuvo en cuenta los resultados de una previa y extensa revisión sobre el tema aplicando el método bibliográfico, y con la fundamentación teórica originada del mismo se elaboró la primera ronda de cinco preguntas. En esta primera ronda de preguntas estuvieron reflejados los factores generales que pueden influir en la determinación del lugar idóneo para el desarrollo del cultivo, tales como: factores climáticos, edáficos, fisiográficos, genéticos y socioeconómicos.

Se inició la primera encuesta con preguntas abiertas, a manera de enfoque preinvestigativo del problema, para que en los cuestionarios subsiguientes se puedan concretar las preguntas e ir cerrando el entorno de las respuestas a los puntos neurálgicos para definir las variables de cada factor estudiado. Ello posibilitó una secuencia lógica de elementos que permitieron concretar las preguntas en los posteriores cuestionarios.

Los especialistas valoraron cada pregunta según su correspondencia con el problema tratado en las categorías: muy relevante (MR), bastante relevante (BR), relevante (R), poco relevante (PR) y no relevante (NR). Para determinar el grado de concordancia entre los expertos en cada una de las preguntas, las respuestas fueron valoradas en una escala de 0–10 puntos y organizadas en una tabla de dos entradas. Las respuestas de cada cuestionario fueron procesadas estadísticamente donde se determinaron los parámetros: media aritmética de la evaluación de los expertos a cada pregunta, desviación estándar y varianza (dispersión de las evaluaciones de cada pregunta). A partir de estos estadígrafos se determinó el coeficiente de variación que

<sup>1</sup> Arango, M. A. Zonificación agroecológica del café en Puerto Rico y análisis estructural y de composición de especies arbóreas presentes en el agroecosistema cafetero. [Tesis de Maestría]. Universidad de Puerto Rico. 2007, 108 p.

<sup>2</sup> Michel, I. Una propuesta dirigida a la formación de la competencia para el diseño didáctico del contenido digital de cursos de postgrado asistidos por multimedia interactivo. [Tesis de doctorado]. ISP. 2007, 113 p.

unido con el grado de relevancia, constituyeron los elementos discriminantes que permitieron proponer las variables en los cuestionarios, teniendo en cuenta como criterio de selección un coeficiente de variación (CV) por encima del 40 % como alta variabilidad o desacuerdo entre los especialistas<sup>2</sup>.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar un análisis sobre los actores existentes en el país con potencialidades para ser seleccionados como expertos, se preseleccionaron siete expertos para el estudio. En la Tabla I se exponen los resultados del nivel de competencia (K) de cada experto en función del problema planteado.

Según los resultados de K, de los siete expertos consultados, seis lograron un nivel de competencia alto y solo el experto 4 logró un nivel medio dado, fundamentalmente, por el nivel de argumentación y fundamentación sobre los factores que determinan los potenciales del rendimiento en el cultivo. En correspondencia con estos resultados y la obtención de un coeficiente de competencia promedio alto (0,89), se definió utilizar a la totalidad de los expertos seleccionados para la consulta.

Al respecto del número de especialistas o expertos óptimo para estos estudios de consulta y aunque no hay forma de determinar este, estudios realizados por investigadores de la Rand Corporation señalan, que parece necesario un mínimo de siete expertos y no más de 30, pues en la medida que aumenta el número de expertos, se incrementa la probabilidad de un mayor desacuerdo entre ellos<sup>1</sup>.

En estricto sentido de lo que es un experto, por lo general el número mínimo de expertos a participar es cinco y el máximo es diez (7).

Basados en la fundamentación teórica originada por la aplicación del método bibliográfico sobre el tema, se elaboró la primera ronda de cinco preguntas. En dicha ronda se propuso que los factores que pueden definir la ubicación del cultivo del cacao son: factores climáticos (I), edáficos (II), fisiográficos (III), genéticos (IV) y socioeconómicos (V).

En correspondencia con la relación que existe entre los valores promedio otorgados por los expertos a cada pregunta y los puntos de corte, los factores climáticos y edáficos resultaron con categoría muy relevantes con igual valor promedio (-2.9813) y los factores fisiográficos resultaron relevantes con valor promedio de -0.0969 (Tabla II). El nivel de relevancia de estos factores significó la afirmación de los expertos sobre la relación directa de estos con las zonas para el desarrollo del cultivo.

Varios autores han utilizado los criterios edafoclimáticos para los estudios de la zonificación agroecológica de los cultivos, entre ellos, los realizados en los sistemas agroforestales en México (8) y en Cuba con el cultivo del café, donde se consideró, además, el relieve (9). Con respecto a los factores fisiográficos, se ha observado la relación entre la altura y posición de la pendiente, con las variables climáticas y la radiación solar, respectivamente. En este sentido, la variación en la luz influye en los cambios de otros parámetros como la evapotranspiración y variables como la temperatura, lo cual implica un manejo del ecosistema en función de la variación de esos dos parámetros (10).

**Tabla I. Nivel de competencia de los expertos seleccionados**

Expertos	Kc (Kc=Escalax0,1)	Ka (suma valores tabulados)	K (K= ½ (kc + ka))	Valoración
1	1	0,9	0,95	Alto
2	0,9	1	0,95	Alto
3	1	1	1	Alto
4	0,7	0,8	0,75	Medio
5	0,8	0,9	0,85	Alto
6	0,8	1	0,90	Alto
7	0,8	0,9	0,85	Alto
Promedio			0,89	Alto

Kc- coeficiente de conocimiento o información    ka- coeficiente de argumentación o fundamentación    K- coeficiente de competencia

**Tabla II. Resultados del procesamiento del primer cuestionario**

Preguntas	Nivel de relevancia				Valor promedio otorgado a cada pregunta	Evaluación	Nivel de concordancia		
	Imágenes por la inversión de la curva normal						Media	$\sigma$	CV (%)
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>					
I	1.07	3.49	3.49	3.49	-2,9813	MR	7.14	3.57	50.00
II	1.07	3.49	3.49	3.49	-2,9813	MR	7.0	2.76	39.42
III	-3.49	-1.07	1.07	3.49	-0,0969	R	7.28	2.49	34.2
IV	-3.49	-3.49	-3.49	-1.07	2,7875	NR	3.71	0.48	12.93
V	-3.49	-3.49	-3.49	-3.49	3,3931	NR	2.85	0.37	12.98
Puntos de corte	- 1.190	- 0.1525	0.1525	0.8446					

MR- muy relevante, BR- bastante relevante, R- relevante, PR- poco relevante, NR- no relevante,  $\sigma$ - desviación típica y CV (%) - coeficiente de variación

Los resultados demostraron además, que los factores genéticos y socioeconómicos fueron valorados no relevantes. Estos resultados indicaron que los mismos no se vinculan directamente con la problemática de la ubicación del cultivo. Respecto a los genéticos, se ha explicado que las características genéticas del material están más relacionadas con la definición de las prácticas de cultivo (11) y que el manejo del material genético es uno de los principales factores que influyen en la productividad del cacao y no en su establecimiento<sup>3</sup>.

Los resultados del análisis sobre el grado de concordancia entre los expertos a las diferentes preguntas, permitieron determinar que las respuestas sobre los factores climáticos, edáficos y fisiográficos tuvieron baja concordancia entre los expertos y escaso consenso debido a un coeficiente de variación entre 34.2 y 50 % calificado de alto para este estudio, a pesar de obtener una puntuación relevante con una media entre 7.0 y 7.28 de una escala ordinal del 0–10 (donde 0 no es relevante y 10 muy relevante).

Resultados muy diferentes se obtuvieron en las respuestas sobre los factores genéticos y socioeconómicos donde los expertos mostraron mayor seguridad en sus respuestas, dado por una alta concordancia y determinado por un bajo coeficiente de variación, que junto a su baja relevancia, confirmaron que estos últimos factores no guardan relación directa con la problemática para determinar la ubicación del cultivo.

Desde el punto de vista genético, en Cuba se han establecido un conjunto de clones, cultivares y mezclas híbridas con diferentes potenciales productivos y distribuidos en las diferentes zonas cacaoteras teniendo en cuenta las exigencias generales de la especie y no a las exigencias del tipo genético, pues independientemente de las condiciones edafoclimáticas existentes, el cacao de un determinado origen botánico expresará su potencial productivo y calidad en correspondencia con sus características propias.

A pesar de que las condiciones socioeconómicas pueden ser consideradas para la definición del lugar de establecimiento de un cultivo dado, particularmente el desarrollo del cacao en Cuba se realiza sobre la base de las condiciones socioeconómicas propias de las empresas productoras y teniendo en cuenta la infraestructura productiva, las condiciones sociales y económicas garantizadas para este objetivo como política del Estado cubano.

Los resultados anteriores motivaron la confección de un segundo cuestionario con el objetivo de lograr un mayor acercamiento de las condiciones climáticas, edáficas y fisiográficas al problema fundamental. En este se tuvo en cuenta el desglose de estos factores en distintas variables para un total de 13 preguntas.

Las preguntas sometidas a la consulta de los especialistas en el segundo cuestionario fueron:

1. Las variables climáticas que determinan la ubicación del cacao son: precipitaciones (I.1), temperatura (I.2), humedad relativa (I.3), vientos (I.4) y la radiación solar (I.5).
2. Las variables edáficas que determinan la ubicación del cacao son: agrupamientos (II.1) y profundidad del suelo (II.2), propiedades físicas (II.3) y químicas (II.4), además del contenido de materia orgánica (II.5).

Las variables fisiográficas que determinan la ubicación del cacao son: altura (III.1), latitud (III.2) y el relieve (III.3).

Luego de ser procesadas las respuestas y relacionados los puntos de corte con los valores promedios de las preguntas (Tabla III), se pudo determinar que las variables climáticas precipitaciones y temperatura resultaron con categoría muy relevante y bastante relevante, respectivamente. Similares resultados se obtuvieron para los factores edáficos agrupamientos y profundidad de suelo. Categorías de poco relevante fueron valoradas por los expertos en los factores edáficos: propiedades físicas y contenido de materia orgánica. El resto de los factores edafoclimáticos y fisiográficos fueron valorados como no relevantes. Las variables precipitaciones y temperatura constituyen las variables que más inciden en el crecimiento y desarrollo del cultivo del cacao, además de tener en cuenta la profundidad del suelo<sup>4</sup>.

El nivel de concordancia entre los expertos a las diferentes respuestas fue bajo para las variables climáticas y edáficas de alta relevancia (con medias entre 8.3 y 9.3) dado por un alto coeficiente de variación. Ello significó que a pesar de que los especialistas reconocen que estas variables pueden determinar la ubicación del cacao, aún en sus respuestas hay variabilidad en su consenso, por lo que según las valoraciones cualitativas realizadas, se consideró la necesidad de profundizar en las mismas, con el objetivo de lograr un mayor desglose y obtener mayor relación de estas variables con el problema propuesto.

Por otro lado, en el resto de las preguntas la variabilidad en las respuestas fue baja, por lo que hubo mayor concordancia y consenso entre ellos.

En este sentido, por tener estas preguntas categorías de no relevante con una alta validez en las respuestas, se consideró que las variables climáticas (humedad relativa, vientos y radiación solar), las variables edáficas (propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica) y las variables fisiográficas analizadas (altura, latitud y relieve) no deben ser objetos de análisis en próximos cuestionarios para la definición de la ubicación cacao.

La humedad relativa está en función de la temperatura y estrechamente relacionada con las precipitaciones.

<sup>3</sup>Llach, L.; Villegas, O.; Martínez, P. L. y Solano, O. M. Caracterización de la Agrocadena Cacao. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Informe ejecutivo. Dirección Regional Huetar Norte, Costa Rica. 2007. 17 p.

<sup>4</sup>Selva, F. Estudio prospectivo de la cadena productiva del cacao en Cuba. Informe Final de Proyecto. Estación de Investigaciones de Cacao de Baracoa. Cuba. 2004. 42 p.

**Tabla III. Resultados del procesamiento del segundo cuestionario**

Preguntas	Imágenes por la inversión de la curva normal				Valor promedio otorgado a cada pregunta	Evaluación	Nivel de concordancia		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>			Media	$\sigma$	CV (%)
I.1	3,49	3,49	3,49	3,49	-4,1757	MR	8.3	2.74	33.01
I.2	-1,07	3,49	3,49	3,49	-3,0363	BR	9.2	3.85	41.8
I.3	-3,49	-3,49	-3,49	-3,49	2,8043	NR	2.85	0.32	11.22
I.4	-3,49	-3,49	-3,49	-3,49	2,8043	NR	4.8	0.69	14.3
I.5	-3,49	-3,49	-3,49	-3,49	2,8043	NR	3.71	0.48	12.93
II.1	3,49	3,49	3,49	3,49	-4,1757	MR	8.5	2.89	34.0
II.2	-1,07	3,49	3,49	3,49	-3,0363	BR	9.3	3.54	38.06
II.3	-1,07	-1,07	-0,57	3,49	-0,883	PR	4.8	0.69	14.3
II.4	-3,49	-3,49	-3,49	-3,49	2,8043	NR	4.71	0.48	10.1
II.5	-1,07	-1,07	-0,57	3,49	-0,883	PR	7.0	0.81	11.5
III.1	-3,49	-3,49	-3,49	-1,07	2,1987	NR	2.85	0.38	13.3
III.2	-3,49	-3,49	-3,49	-1,07	2,1987	NR	3.85	0.39	10.1
III.3	-3,49	-3,49	-3,49	-3,49	2,8043	NR	3.28	0.48	14.13
Puntos de corte	-3,1029	-1,8007	-1,6574	0,1936					

MR- muy relevante, BR- bastante relevante, R- relevante, PR- poco relevante, NR- no relevante,  $\sigma$ - desviación típica y CV (%) - coeficiente de variación

La información del efecto de los vientos sobre la producción y el comportamiento fenológico del árbol, es muy escasa; sin embargo, es el factor que determina la velocidad de evapotranspiración del agua en la superficie del suelo y de la planta<sup>5</sup>.

Los especialistas valoraron factores discriminantes de estas condiciones y consideraron que estas variables pueden ser modificadas por el factor antrópico o dependientes de las variables con mayor relevancia. Por ejemplo, la radiación solar, la velocidad de los vientos y la humedad relativa pueden ser modificadas por la tecnología del manejo de la sombra, además de estar relacionadas con las precipitaciones y temperatura. Las propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica son variables dependientes del tipo de suelo o de la influencia del factor antrópico. Desde el punto de vista fisiográfico, la altura determina la temperatura del aire y este no es un factor determinante como lo son los factores climáticos y edafológicos en una plantación de cacao (12).

Sin embargo, las variables precipitaciones, temperatura, agrupamientos y profundidad del suelo, no pueden ser modificables a las exigencias del cultivo.

Teniendo en cuenta las valoraciones realizadas en la segunda ronda de preguntas, se determinó aplicar un tercer cuestionario con preguntas que contengan rangos de valores, para lograr una caracterización de las variables más relevantes y con mayor cercanía a la problemática tratada. Las preguntas sometidas a la consulta de experto en el tercer cuestionario fueron seis, las mismas son:

1. Las condiciones climáticas que determinan la ubicación del cacao son: precipitación total anual entre 1200–2200 mm (I.1), distribución de las precipitaciones (I.2), temperatura media anual entre 21–30°C (I.3) y oscilación térmica diaria (I.4).

<sup>5</sup>Macedo, C.; Delgado, E. y Marin, F. Zoneamento agrícola de riscos climáticos da laranja no Estado de São Paulo. En: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 22-25 de setembro 2009, Belo Horizonte, Brazil. Eventos e Convenções, GranDarrell Minas Hotel, 2009. p. 4.

2. Las condiciones edáficas que determinan la ubicación del cultivo del cacao son: agrupamientos de suelos que reúnan las exigencias del cultivo (II.1) y profundidad de los suelos mayor de 60 cm (II.2).

El procesamiento de las respuestas del tercer cuestionario se expresa en la Tabla IV. Los resultados demostraron que solo la oscilación térmica diaria resultó con categoría no relevante. El resto de los factores sometidos a criterios fueron valorados de relevante, muy relevantes y bastante relevantes.

Los criterios planteados y debatidos por los expertos acerca de la categoría relevante de la distribución de las precipitaciones fueron significativos, pues consideran que si bien la distribución de las precipitaciones es un elemento a tener en cuenta para la definición de las zonas agroecológicas bajo las condiciones actuales de cambios climáticos, este elemento no es posible analizarlo independiente a las condiciones físicas del suelo y fisiográfica de la región, en función del período con disponibilidad de humedad.

La disponibilidad de humedad en el suelo depende entre otros factores de su textura y está relacionada en gran medida con el tipo de suelo y las condiciones de mejoramiento producto de las labores fitotécnicas<sup>6</sup>.

El grado de concordancia entre los especialistas o expertos para las diferentes preguntas del tercer cuestionario demostró que todas las preguntas con alta relevancia (excepto la profundidad del suelo) resultaron con alta variabilidad en sus respuestas, lo cual significó, que a pesar de la alta relevancia en las preguntas, aún no cumple con el problema objeto de estudio.

<sup>6</sup>Rodriguez, E. Identification of producer zones for cacao, test varieties and land in the department of Putumayo, Perú. Colombia Alternative Development Projec. Fundación Chemonics-Colombia. 2002, 44 p.

**Tabla IV. Resultados del procesamiento del tercer cuestionario**

Preguntas	Imágenes por la inversión de la curva normal				Valor promedio otorgado a cada pregunta	Evaluación	Nivel de concordancia		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>			Media	$\sigma$	CV (%)
I.1	0,57	3,49	3,49	3,49	-2,1866	MR	7.28	2.49	34.2
I.2	-3,49	-1,07	1,07	3,49	0,5724	R	7.0	2.30	32.8
I.3	-3,49	-0,57	3,49	3,49	-0,1586	BR	8.71	3.1	35.5
I.4	-3,49	-3,49	-3,49	-1,07	3,4568	NR	2.85	0.32	11.22
II.1	3,49	3,49	3,49	3,49	-2,9176	MR	8.1	3.42	42.22
II.2	-1,07	-1,07	-0,57	3,49	0,3752	R	7.2	0.81	11.25
Puntos de corte	-1,0688	0,1127	1,0688	2,3403					

MR- muy relevante, BR- bastante relevante, R- relevante, PR- poco relevante, NR- no relevante,  $\sigma$ - desviación típica y CV (%) - coeficiente de variación

Según los especialistas este desglose deberá estar en correspondencia con los potenciales del rendimiento que definen las categorías para la zonificación agroecológica, aspecto que se tuvo en cuenta para la elaboración de una cuarta ronda de preguntas.

Por otro lado, las preguntas sobre la oscilación térmica diaria y la profundidad del suelo con categorías de no relevante y relevante, respectivamente, resultaron con baja variabilidad de las respuestas por el alto grado de concordancia entre los expertos. Debido a la falta de relevancia en la variable oscilación térmica diaria y alta validez de los criterios, esta no se tuvo en cuenta en próximos cuestionarios. Sin embargo, para el caso de la variable profundidad del suelo con categoría de relevante, su alta variación en los criterios originó la necesidad de emitir valores de profundidad en próximos cuestionarios.

En consecuencia con las respuestas y valoraciones realizadas por los especialistas en la tercera ronda o cuestionario de preguntas, se consideró necesario otorgar valores a los rangos propuestos en un cuarto cuestionario. Ello se realizó teniendo en cuenta las categorías de la zonificación (óptimo, medianamente óptimo y aceptable) y los potenciales de rendimiento sobre la base de las experiencias prácticas, observaciones, datos de áreas experimentales y datos de producción en plantaciones adecuadas de cacao. En esta se propusieron valores de precipitaciones y temperaturas por categorías de zonificación, se consideraron los agrupamientos de suelos para todas las categorías y diferentes profundidades de suelos.

En el cuarto cuestionario se propusieron cinco preguntas por categoría de zonificación, para un total de 15 preguntas, teniendo en cuenta: precipitación anual, temperatura media anual, agrupamientos de suelos, profundidad del suelo y el potencial del rendimiento.

Todos los elementos propuestos resultaron ser de categorías muy relevantes y bastante relevantes según la relación entre los puntos de corte y los valores promedio, con valores entre -1.9027 y 1.7845 (Tabla V). Los resultados permitieron reconocer que todas las preguntas consultadas a los especialistas tienen relación directa con las condiciones para establecer el cultivo del cacao, según potencial productivo, estimado por categoría.

El nivel de concordancia interpretado a partir del coeficiente de variación entre 6.1 y 16.6 % con medias entre 8.28–9.71, indicó baja variabilidad de las respuestas, alta validez de las valoraciones realizadas y un consenso general de que esas son las condiciones que determinan la ubicación del cacao y, por consiguiente, constituyen las bases para la zonificación del cultivo.

El mayor consenso entre los especialistas sucedió en el cuarto cuestionario y con ello los criterios más definidos que determinan las zonas agroecológicas para el cultivo del cacao en sus distintas categorías de zonificación. Se considera que a partir del tercer o cuarto cuestionario es que los expertos comienzan a mantener sus criterios y a obtener un mayor acuerdo o consenso entre las respuestas (13).

En la Tabla VI se muestran las bases o los criterios para realizar la zonificación agroecológica del cacao producto del procesamiento de las consultas de expertos. De todas las variables ecológicas, las precipitaciones y la profundidad de los suelos fueron las de mayor influencia en el potencial del rendimiento, pues los rangos de temperatura y los agrupamientos de suelos fueron los mismos para todas las categorías. Al respecto, la temperatura promedio anual representativa del cacao en las diferentes zonas de producción del mundo es de 24.5 a 25.5°C, valores que se encuentran dentro del rango definido en las bases para la zonificación del cacao (14).

Los resultados mostraron que los cambios de precipitaciones anuales desde un mínimo de 1 200 mm hasta un máximo de 2 200 mm y los criterios sobre la profundidad de los suelos que varía desde 41 cm hasta más de 100 cm, según la categoría, determinan cambios en el potencial del rendimiento del cultivo, que varía desde 0.5 hasta 2 t.ha<sup>-1</sup>, por encima de los rendimientos actuales promedio de 0,28 t.ha<sup>-1</sup> (15).

La determinación de las bases para la zonificación agroecológica del cacao a través de la consulta a expertos por el método Delphi, constituyó un elemento importante en el análisis realizado, debido a que le da un carácter más participativo al proceso de la definición del lugar adecuado para el desarrollo del cultivo.

**Tabla V. Resultados del procesamiento del cuarto cuestionario**

Preguntas	Imágenes por la inversión de la curva normal				Valor promedio otorgado a cada pregunta	Evaluación	Nivel de concordancia		
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>			Media	$\sigma$	CV (%)
I.1	3,49	3,49	3,49	3,49	-1,9027	MR	8.28	1.38	16.6
I.2	-3,49	0,57	1,07	1,07	1,7845	BR	9.14	0.89	9.7
I.3	1,07	3,49	3,49	3,49	-1,2971	MR	8.85	1.21	13.6
I.4	-1,07	0,57	3,49	3,49	-0,0323	MR	8.42	0.78	9.3
I:5	-3,49	0,57	1,07	3,49	1,1789	BR	9	0.57	6.3
II.1	3,49	3,49	3,49	3,49	-1,9027	MR	8.71	0.75	8.6
II.2	-3,49	1,07	1,07	1,07	1,6591	BR	9.14	0.89	9.7
II.3	1,07	3,49	3,49	3,49	-1,2971	MR	8.85	0.89	10.5
II.4	-0,57	3,49	3,49	3,49	-0,8887	MR	8.57	0.53	6.1
II.5	-3,49	1,07	1,07	3,49	1,0535	BR	9.42	0.78	8.2
III.1	3,49	3,49	3,49	3,49	-1,9027	MR	8.85	0.69	7.7
III.2	-0,57	3,49	3,49	3,49	-0,8887	MR	8.57	0.97	11.3
III.3	0,18	3,49	3,49	3,49	-1,0752	MR	9.57	0.53	5.5
III.4	-1,07	1,07	3,49	3,49	-0,1577	BR	9.52	0.78	8.1
III.5	-0,57	1,07	3,49	3,49	-0,2831	BR	9.71	0.75	7.7
Puntos de corte	-0,7154	4,8412	6,0943	6,7864					

MR- muy relevante, BR- bastante relevante, R- relevante, PR- poco relevante, NR- no relevante,  $\sigma$ - desviación típica y CV (%)- coeficiente de variación

**Tabla VI. Bases para la zonificación agroecológica del cacao**

Factores	Variables	Categorías de zonificación		
		Zonas óptimas	Zonas medianamente óptimas	Zonas aceptables
Climáticos	Precipitaciones anuales (mm)	1 800-2 200	1 500-1 800	1 200-1 500
	Temperatura media anual (°C)	22-26	22-26	22-26
Edáficos	Agrupamientos de suelo	Fersialítico	Fersialítico	Fersialítico
		Ferralítico	Ferralítico	Ferralítico
		P. sialíticos	P. sialíticos	P. sialíticos
		Fluvisoles	Fluvisoles	Fluvisoles
Profundidad del suelo (cm)	Muy profundos (> 100 cm)	- Muy profundos (> 100 cm)	- Muy profundos (> 100 cm)	
		- Profundos (61-100 cm)	- Profundos (61 – 100 cm)	
			- Medianamente profundos (41-60cm)	
Rendimiento potencial ( t.ha <sup>-1</sup> )	>2	1 - 2	0.5 - 1	

## CONCLUSIONES

- \* Los factores edafoclimáticos son los de mayor influencia para definir la ubicación del cultivo del cacao y constituyen los principales elementos para determinar las bases de la zonificación agroecológica.
- \* Las variables climáticas que determinan las bases para la zonificación agroecológica del cacao son las precipitaciones y la temperatura, siendo las variables edáficas los agrupamientos de suelos y su profundidad.

## REFERENCIAS

1. Espinosa, J. y Roquera, A. Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua. *Rev. Rumipamba*, 2007, vol. 21, no. 1, p. 54-56.
2. Garea, E. /et. al./ Zonificación agroecológica en condiciones de montaña mediante métodos de análisis espacial. *Revista internacional de ciencias de la tierra. MAPPING*. 2008, julio, p. 12–18. ISSN: 1.131-9.100
3. Soto, F. /et al./ La zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, L. en Cuba. Macizo montañoso Sagua-Nipe-Baracoa. *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 22, no. 3, p. 27-51.
4. Soto, F. /et al./ Zonificación agroecológica de la cordillera de Guaniguanico. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 1, p. 41- 55.
5. Linstone, A. y Turoff, M. The Delphi method: Technique and applications. Addison Wesley Publishing, 1975.
6. Scott, G. Strategic planning for high-tech product development. *Technology Analysis and Strategic Management*, 2001, vol.13, no.3, p. 45-62.
7. Barraza, A. Apuntes sobre metodología de la investigación. La consulta a experto como estrategia para la recolección de evidencias de validez basadas en el contenido. Universidad Pedagógica de Durango, México. INED, 2007, no. 3.

8. Pérez, E. y Geissert, D. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: El caso café (*Coffea arabica* L.) - palma camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). *INCI*, 2006, vol. 3, no. 8, p. 32-35.
9. González, H. Zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, Lin en un sector del grupo orográfico de Guamuhaya, Cuba, utilizando los SIG. *Revista internacional de ciencias de la tierra. MAPPING*, 2009, marzo, p. 21-29. ISSN: 1.131-9.100.
10. Jaimez, R. E. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*, Lin): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencia para su mejoramiento en Venezuela. *Forest. Venez*, 2008, vol. 52, no. 2, p. 37-43.
11. Daymond, A. y Hadley, P. The effect of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annual Applied Biology*, 2004, vol. 145, p. 257-262.
12. Gonzáles, F. S. Ecofisiología del cação. [en línea]. Tingo Maria, Peru: Ed. Diplomado 2007-UNAS, 23-3-2007. Consultado [1-9-2008]. Disponible en: <<http://diplomado2007unas.blogspot.com/2008/01/ecofisiologia-del-cacao.html>>.
13. Konow, I. Métodos y técnicas de investigación prospectiva para la toma de decisiones [en línea]. Chile: Ed. Universidad de Chile, 11 Enero 2008. Consultado [17-4-2010]. Disponible en: <<http://www.Avizora.com>>.
14. Batista, L. Guía técnica. El cultivo del cacao en la República Dominicana [en línea]. Santo Domingo, República Dominicana: Ed. CEDAF, 23 marzo 2009. Consultado [4-10-2011]. Disponible en: <<http://www.cedaf.org.do>>.
15. Oficina Nacional de Estadística. 2010. Datos de la producción nacional agropecuaria. Informe Nacional. Oficina Nacional de Estadísticas. Cuba.

Recibido: 20 de octubre de 2011

Aceptado: 9 de octubre de 2012

#### ¿Cómo citar?

Suárez, Giclis M.; Florido Bacallao, René; Soto Carreño, Francisco y Caballero Núñez, Alberto. Bases para la zonificación agroecológica en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*, Lin) por medio del criterio de expertos. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 2, p. 30-37.