



UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
Facultad Agroforestal de Montaña

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
Departamento de Fitotecnia

**Zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso
Nipe-Sagua-Baracoa**



Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Autor: Ing. Gicli Manuel Suárez Venero, M. Sc.

San José de las Lajas, Mayabeque

2013



UNIVERSIDAD DE GUANTÁNAMO
Facultad Agroforestal de Montaña

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
Departamento de Fitotecnia

**Zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso
Nipe-Sagua-Baracoa**

Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Autor: Ing. Gicli Manuel Suárez Venero, M. Sc.

Tutores: Dr.C. Francisco Soto Carreño

Dr.C. Alberto Hernández Jiménez

Dr.C. Oscar José Solano Ojeda

San José de las Lajas, Mayabeque

2013

Citación correcta Norma ISO 690

Según Sistema de Referencia Numérico

1. Suárez-Venero, Gicli M. Zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas] San José de las Lajas, Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; Universidad de Guantánamo, Facultad de Montaña. 2013. 100 p.

Según Sistema de Referencia Apellido, año

Suárez-Venero, Gicli M. 2013. Zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas] San José de las Lajas, Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; Universidad de Guantánamo, Facultad de Montaña. 100 p.

AGRADECIMIENTOS

El éxito de este trabajo no corresponde al esfuerzo individual de un hombre, pues ha sido la acción conjunta de pensamientos y sentimientos humanos, de instituciones y de la obra de la Revolución, quienes me dieron la oportunidad de explorar nuevas ideas y desarrollar mi potencial como ser humano y como investigador, que han contribuido a mi formación profesional y al logro de esta etapa de mi vida.

A mis tutores, Dr.C. Francisco Soto Carreño, Dr.C. Alberto Hernández Jiménez y el Dr.C. Oscar J. Solano Ojeda, por ser los responsables de este sueño. No escatimaron tiempo, ni esfuerzo para orientarme en el camino seguro de este campo investigativo poco estudiado. Especialmente al Dr.C. Soto, quien con cariño de tutor, padre, amigo y hermano, me brindó todo el apoyo incondicional para lograr este objetivo.

Al colectivo de trabajadores del INCA, por acogerme y brindarme las facilidades para mi formación como uno más de ellos, en especial a todos los integrantes del departamento de Fitotécnia. A los compañeros y compañeras del servicio de comedor y hospedaje del INCA por el servicio brindado durante todos los años que estuve en mis aspiraciones científicas.

A la Universidad de Guantánamo y la Facultad Agroforestal de Montaña, por el apoyo brindado en los últimos pasos del proceso doctoral. A mis compañeros del Centro de Desarrollo de la Montaña, por acompañarme durante mi formación en la mayoría del tiempo de mi carrera.

A los amigos y compañeros de batalla: Guillermo Almenares, Alberto Pérez, Loexis Rodríguez, Yaniusya Perigó, Gertrudis Pentón, Ernesto Padilla y Fernando Almeida por el trabajo conjunto en el afán de hacernos doctores en ciencias.

A los colegas de la dirección provincial de la ACTAF por el apoyo brindado durante los últimos años de esta honrosa tarea y a los colegas de la antigua Estación Investigaciones de Cacao en Baracoa por la asesoría brindada.

.A María Isabel Pavón, Mario Varela Nualles, Walfredo Torres de la Noval, Antonio Vantour Cause, José Márquez, Beatriz Aguirre, Urbano Rodríguez, Ángel Leyva, Eduardo Garea Llanos, Manuel Riera Nelson y Yordanis Corona, por la colaboración brindada.

!!! A todos va dirigida mi gratitud !!!!

DEDICATORIA

*A mi Madre, y Hermanos, quienes me inculcaron los valores
de un hombre digno,*

A mi Hijo y Esposa por su dedicación, perseverancia y amor.

A mis amigos,

A la Revolución, Fidel y Raúl

*“A todos los que creen que un mundo mejor es posible, donde
se enseñen los valores sociales, un mundo con seguridad
alimentaria, salud y amor...”.*

SÍNTESIS

La investigación se realizó con el objetivo de identificar zonas edafoclimáticas que respondan a los requerimientos del cacao, en función de alcanzar un mayor rendimiento en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. La metodología utilizada se fundamentó y diseñó a partir de las experiencias obtenidas en el país y adecuada a las condiciones concretas de la especie y el territorio estudiado. El proceso de investigación incluyó la determinación de las bases para la zonificación edafoclimática del cacao, a partir del criterio de expertos como un aporte a la metodología utilizada. Se determinaron las condiciones edafoclimáticas que caracterizan cuatro categorías de zonificación (óptima, medianamente óptima, aceptable y no apta). Se determinaron las zonas climáticas y edáficas de la región por medio de la caracterización de algunas variables climáticas y edáficas. Ello permitió obtener las zonas edafoclimáticas que fueron representadas en un mapa a escala 1:100 000, y su validación en diferentes sitios por categoría de zonificación. Los resultados permitieron obtener una superficie total de 46 681,07 ha. en condiciones edafoclimáticas adecuadas para el desarrollo del cacao, cuyos rendimientos estimados se encuentran entre 0,5 t.ha⁻¹ hasta más de 2 t.ha⁻¹ aplicando una tecnología adecuada, y cuya valoración económica demostró una relación Beneficio/Costo superior a las que se obtienen en las condiciones actuales de producción. Se comprobó la validez de la metodología utilizada para la zonificación edafoclimática del cacao y con ello se logra un aporte nuevo al conocimiento para estos estudios bajo las condiciones de las montañas.

ÍNDICE

	Contenido	Páginas
I.	INTRODUCCIÓN -----	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA -----	5
2.1.	Origen e importancia del cacao -----	5
2.2.	Producción y consumo mundial de cacao -----	6
2.3.	La producción del cacao en Cuba -----	7
2.4.	Ecofisiología del cacao -----	8
2.4.1.	Influencia de los factores climáticos en el crecimiento y desarrollo del cacao -----	10
2.4.1.1.	Las precipitaciones -----	11
2.4.1.2.	La temperatura -----	14
2.4.1.3.	Radiación solar -----	16
2.4.2.	Influencia de los factores edáficos en el crecimiento y desarrollo del cacao -----	17
2.4.2.1.	La profundidad del suelo -----	18
2.4.2.2.	Textura y estructura del suelo -----	19
2.5.	La zonificación agroecológica de los cultivos. Importancia -----	20
2.5.1.	Aspectos metodológicos de la zonificación agroecológica -----	25
2.5.2.	Principales antecedentes de los estudios de la zonificación agroecológica en Cuba -----	31
2.5.3.	Herramientas informáticas para la zonificación agroecológica de los cultivos -----	33

Contenido		Páginas
III.	MATERIALES Y MÉTODOS -----	36
3.1.	Ubicación y selección del área de estudio -----	36
3.2.	Diseño metodológico -----	37
3.3.	Determinación de las bases para la zonificación edafoclimática del cacao -----	38
3.3.1.	Determinación de las bases para la zonificación edafoclimática para el cacao por medio de criterio de expertos -----	39
3.3.1.1.	Selección de los expertos para la consulta -----	39
3.3.1.2.	Elaboración y aplicación de los cuestionarios -----	40
3.4.	Caracterización edafoclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa -----	42
3.4.1.	Caracterización climática -----	42
3.4.1.1.	Precipitaciones -----	43
3.4.1.2.	Temperatura -----	43
3.4.1.3.	Zonificación climática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa ----	44
3.4.2.	Caracterización edáfica -----	44
3.5.	Representación de las zonas edafoclimática para el cultivo del cacao---	45
3.6.	Validación de los resultados de la zonificación edafoclimática para el cacao -----	45
3.6.1.	Selección de los sitios para la validación -----	45
3.7.	Análisis económico -----	47

	Contenido	Páginas
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	49
4.1.	Bases para la zonificación edafoclimática de <i>Theobroma cacao</i> L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa -----	49
4.2.	Caracterización edafoclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa en función de la zonificación agroecológica del cacao -----	70
4.2.1.	Caracterización climática -----	70
4.2.1.1.	Precipitaciones -----	71
4.2.1.2.	Temperatura -----	73
4.2.1.3.	Zonificación climática -----	75
4.2.2.	Caracterización edáfica -----	76
4.2.2.1.	Agrupamientos de suelos para el cultivo del cacao -----	76
4.2.2.2.	Profundidad efectiva de los suelos para el cultivo del cacao -----	82
4.2.2.3.	Zonas edáficas para <i>Theobroma cacao</i> L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa -----	83
4.3.	Zonificación edafoclimática para <i>Theobroma cacao</i> L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa -----	84
4.4.	Validación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao --	90
4.4.1.	Resultados del proceso de selección del municipio para la validación --	90
4.4.2.	Proceso de validación en sitios representativos del municipio Baracoa----	92
4.5.	Análisis económico de la aplicación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa----	94
4.6.	Metodología para la zonificación edafoclimática del cacao -----	96
V.	CONCLUSIONES -----	99
VI.	RECOMENDACIONES -----	100
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
VIII	ANEXOS	

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es una planta que se cultiva en varios países del mundo por sus cualidades alimenticias y medicinales. Sus derivados son usados ampliamente en la industria confitera por el placer de sus características sensoriales. La mayor importancia que se le atribuye al cultivo, es su influencia en el beneficio para la salud debido a su valor energético, la composición de sus diferentes derivados y el nivel de antioxidantes naturales que posee (Mcfadden, 2008).

La Organización Internacional del Café y Cacao (ICCO, 2012), ha estimado el consumo mundial en 4 439 millones de toneladas; sin embargo, la producción mundial de cacao (4 309 millones de toneladas) aún no satisface las demandas del mercado internacional a pesar de los rendimientos altos de los principales países productores (3 - 4 t.ha⁻¹).

Particularmente en Cuba, los rendimientos no sobrepasan las 0,28 t.ha⁻¹ (ONE, 2012), sin embargo, el potencial de rendimiento supera 1,5 t.ha⁻¹ (Márquez, 2004). Sobre estos resultados influyen diferentes factores, entre ellos: aplicación inadecuada de la tecnología en muchas zonas productoras y la ubicación del cacao en superficies que no reúnen los requerimientos edafoclimáticos del cultivo (MINAG, 2011).

Este último factor, trae consigo falta de compatibilidad entre las condiciones edafoclimáticas y las exigencias del cacao, como consecuencia de un uso inadecuado del suelo. Tal situación constituye una problemática a tener en cuenta en el diseño de las investigaciones, para aumentar los rendimientos actuales del cacao.

En Cuba la producción de cacao está concentrada en la región oriental, específicamente en las zonas montañosas de las provincias de Guantánamo, Holguín, Santiago de Cuba y Granma. Las primeras tres pertenecen al macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, grupo orográfico que soporta el 94 % de la superficie total plantada.

Estas plantaciones se han desarrollado sin criterios de estudios de zonificación, que permitan la planificación adecuada de la tierra. Por otra parte, es posible encontrar zonas con aptitudes para el desarrollo del cultivo que no se explotan, o se utilizan para otros objetivos, lo que ha significado menores posibilidades de obtener mayor rendimiento de acuerdo a las características de los agroecosistemas.

Para solucionar esos problemas, en el mundo se vienen realizando diferentes estudios para la planificación del uso de las tierras por medio de la zonificación agroecológica (ZAE) y la zonificación edafoclimática (ZEC) de los cultivos (FAO, 1997). Según Gliessman *et al.* (2007) este proceso se ejecuta dentro de los marcos y principios de la Agroecología, que es una ciencia que aporta los principios ecológicos básicos para el estudio, diseño y manejo de los agroecosistemas.

Para lograr lo expuesto anteriormente en los agroecosistemas de cacao, es imprescindible conocer la interacción de los elementos agrícolas del cultivo, con los factores ecológicos del medio, en función de aumentar la agroproductividad del mismo, aspecto que coincide con lo informado por Funes (2007).

Diferentes trabajos de zonificación agroecológica y edafoclimática para los cultivos perennes, incluyendo el cultivo del cacao; se han realizado en varios países del mundo. Entre los más significativos se encuentran: Benacchio (1984b), Zambrano (1991), Leal *et al.* (1999), Pérez y Geissert (2006) en Venezuela; Puebla *et al.* (1991) en México; Silva *et al.* (1994) y Macedo *et al.* (2009) en Brasil; Duran y Torres (2001) en Costa Rica; Rodríguez (2002), Jairo (2005) y García *et al.* (2006) en Colombia; Arango (2007) en Puerto Rico, entre otros.

En Cuba para este cultivo no existen antecedentes de la zonificación edafoclimática. Los trabajos más cercanos fueron realizados por Soto *et al.* (2001 a; 2002; 2007) los cuales

desarrollaron la zonificación agroecológica para el cultivo del café en distintos macizos montañosos de Cuba.

A partir del análisis realizado, lo afirmado por la literatura internacional y las problemáticas que tiene el cultivo en Cuba, la presente investigación se propuso el siguiente **problema científico**: ¿Dónde establecer el cultivo del cacao para alcanzar mayores rendimientos en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa?

Sobre la base de las afirmaciones anteriores, se formuló la siguiente **hipótesis**: El establecimiento del cacao en zonas que respondan a sus exigencias edafoclimáticas como resultado de la zonificación, permite ubicar las plantaciones de cacao en condiciones para alcanzar mayores rendimientos en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa.

Objetivo general:

Identificar zonas edafoclimáticas que respondan a los requerimientos del cultivo del cacao, en función de alcanzar mayor rendimiento, en el macizo montañoso Nipe-Sagua Baracoa.

Objetivos específicos:

1. Establecer las bases para la zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L., teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo.
2. Caracterizar las principales variables edafoclimáticas en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa.
3. Adecuar y validar una metodología para la zonificación edafoclimática del cacao en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa.

Novedad científica

Se desarrolló una metodología nueva para establecer las bases de la zonificación edafoclimática del cacao. Se caracterizaron los suelos y las variables temperaturas y precipitaciones en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. Se obtienen por primera vez

los resultados de la zonificación edafoclimática para el cacao en el macizo montañoso más oriental de Cuba.

Valor práctico

Se pone a disposición de los productores y decisores, una herramienta útil para la toma de decisiones, sobre la ubicación del cacao en zonas edafoclimáticas para incrementar los rendimientos actuales.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen e importancia del cacao

El género *Theobroma* es nativo del nuevo mundo, y desde México hasta Perú se encuentran especies silvestres, con aparente centro de origen en la cuenca del Amazonas. En general, el árbol de cacao pertenece al estrato inferior de los bosques bajos, donde predominan condiciones de calor, sombra y humedad (Enríquez, 2001).

La especie *Theobroma cacao* L. de la familia *Esterculeaceae*, es la única económicamente importante dentro de las 22 especies que conforman el género, ya que posee una semilla rica en aceites y su fruto es fuente de chocolate y manteca de cacao (Parra, 2005).

Los toltecas, chichimecas, mayas, etc., utilizaban el grano de cacao como alimento y como moneda, mientras que los aborígenes de América del Sur, en el Cauca, Magdalena y afluentes Colombianos del Amazonas, desconocían el valor alimenticio y monetario del grano, y utilizaban en cambio la pulpa para fabricar una bebida alcohólica (Braudeau, 1970).

El cacao no era consumido solo, sino mezclado principalmente con maíz molido, y se hervía añadiéndole otros ingredientes, como ají, vainilla, y miel. La manteca se separaba de la masa por ebullición y era empleada como medicina para curar heridas y para ciertas enfermedades cutáneas.

Hoy se reconoce la importancia del cacao por su valor alimenticio, nutritivo y calórico. La gran importancia alimentaria del cacao se deriva de la composición química de su componente principal “El grano”, que posee un rico contenido de grasa, siendo la cantidad de manteca en los granos no fermentados y secos superior al 50 %, pudiendo alcanzar un 55 %. Estas grasas contienen una gran cantidad de ácido esteárico, que a diferencia de otros ácidos, no aumenta el nivel de colesterol en la sangre, previniendo así los trastornos cardiovasculares y la estimulación de las defensas del organismo (Mcfadden, 2008).

Según el mismo autor, en un estudio realizado en la universidad de California, se encontró que 1,5 onzas de chocolate, o una taza de leche hecha con dos cucharadas de polvo, tenía aproximadamente la misma cantidad de compuestos fenólicos antioxidantes que una copa de un vino tinto. Los flavonoides contenidos en el chocolate parecen reducir el tiempo de coagulación de la sangre, que puede disminuir el riesgo de ataques al corazón y derrames cerebrales.

Por otra parte, el chocolate contiene la llamada “molécula del amor”, feniletilamina (FEA) que es una sustancia del grupo de las endorfinas y es muy similar a una anfetamina. El efecto primario de la FEA, es estimular la secreción de dopamina, un compuesto neurotransmisor que tiene el efecto de provocar el bienestar y estimula en el cuerpo la misma reacción que se produce al estar enamorado (Valenzuela, 2007).

2.2. Producción y consumo mundial de cacao

Al inicio del siglo XX, el cacao todavía se producía predominantemente en las Américas y los mayores productores eran Ecuador, Brasil y Trinidad y Tobago. Sin embargo, este panorama pronto se modificó con la aparición de la región productora de África Occidental, que luego llegaría a ser, durante el resto del siglo, la región dominante.

La producción africana comenzó a superar a la de las Américas en 1920. En aquella época, Ghana producía más de 100 000 t.año⁻¹ y a finales del año 1970 Costa de Marfil desplazó a Ghana del primer lugar como productor de cacao durante los 20 años siguientes, llegando a alcanzar a mediados del decenio de 1990 más de un millón de toneladas anuales. Los últimos dos decenios del siglo XX presenciaron el aumento de la producción en Asia Sudoriental, primero en Malasia y más tarde en Indonesia. Recientemente la región de Asia y Oceanía ha superado a América Latina, convirtiéndose en la segunda región productora de cacao del mundo (ICCO, 2010).

Actualmente la producción mundial de cacao se distribuye, básicamente, en 3 regiones con el siguiente aporte a la producción mundial: África (66 % - 70 %), Asia (16 % - 18 %), América y Caribe (14 % - 16 %). Son los africanos y en especial Costa de Marfil, los principales productores de cacao en el mundo (Llach *et al.*, 2007).

Por lo general, el consumo en los países productores es reducido, con la notable excepción de algunos países andinos, Brasil y algunas islas del Pacífico. El mercado individual más importante del cacao en grano es los Estados Unidos. Sin embargo, la Unión Europea, es el importador neto mayor de cacao en grano (Serrano, 2006).

La producción mundial de cacao ha tenido importantes ascensos, pero a partir del año 2007 la Organización Internacional del Cacao (ICCO) informó sobre un déficit mundial de cacao de 103 000 toneladas, comparado con un superávit de 176 000 toneladas en el 2006 (ICCO, 2007). La organización destacó que el clima seco inusual en el oeste de África y otras regiones, provocó el recorte de los programas de cosecha, situación que se agudiza cada año en los agroecosistemas de países productores (ICCO, 2006). Por ese motivo los precios actuales en el mercado internacional se encuentran alrededor de 2 239,24 USD.ton⁻¹ (ICCO, 2013).

2.3. La producción del cacao en Cuba

En Cuba, el cacao se cultiva principalmente en la región oriental y se dedican actualmente más de 8 500 hectáreas siendo la provincia de Guantánamo, donde se encuentra la mayor superficie y producción dedicada al cultivo, con un 76 % y 91 %, respectivamente; distribuida en seis municipios. En la provincia de Santiago de Cuba se dedican cuatro municipios; en Granma y en Holguín tres municipios (MINAG, 2012).

Las unidades productivas se distribuyen en: 28 CPA, 32 UBPC, 76 CCS que incluyen a 476 usufructuarios, tres Granjas Integrales Militares (EJT) y cinco Granjas Estatales. La

producción es atendida por 13 empresas agropecuarias, que realizan la fermentación y el secado del grano cosechado (MINAG, 2011).

Históricamente la producción de cacao ha tenido etapas de altas y bajas, con un pico máximo en 1961 de 3 973 t de cacao seco y uno mínimo en 1963 con 816,5 t. Los rendimientos actuales son considerados de muy bajos si éstos se comparan con el de los países productores de cacao en el mundo, cuyos rendimientos se encuentran por encima de 2 t.ha⁻¹. La existencia de áreas cultivadas con más de 20 años, la deficiencia en el manejo de las plantaciones y el establecimiento del cultivo en zonas que no suplen sus exigencias, son entre otros los factores que han originado los bajos rendimientos.

2.4. Ecofisiología del cacao

La fisiología vegetal es la ciencia que estudia cómo funcionan las plantas, y explica a través de leyes físicas y químicas cómo las plantas son capaces de utilizar la energía de la luz para, a partir de sustancias inorgánicas, sintetizar moléculas orgánicas, con las cuales construyen las complejas estructuras que forman el cuerpo de la planta. Explica también cómo las plantas siguiendo un programa de desarrollo endógeno, son capaces de reproducirse y cómo adaptan dicho programa al ambiente particular de cada momento. (Revilla y Zarra, 2000).

Los propios autores señalan, que el aspecto más importante no es el cúmulo de procesos físicos y químicos que tiene lugar en cada punto concreto de la planta y en cada momento de su programa de desarrollo, sino cómo se integran dichos procesos en el espacio y en el tiempo, además de su modulación por el medio ambiente para llevar a buen término el desarrollo de la planta.

De lo anterior se deduce que la fisiología vegetal es afectada directa e indirectamente por los factores del medio ambiente. Por ello es indispensable el conocimiento de la relación entre los factores ecológicos de un agroecosistema (precipitaciones, temperatura, humedad

relativa, radiación solar, etc.) y los aspectos fisiológicos que determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En este contexto, la ecofisiología de los cultivos estudia la relación entre el funcionamiento de los cultivos, la productividad y su relación con el ambiente. Toma los conceptos de la fisiología vegetal, la edafología, la climatología, la bioquímica, etc., y los integra a un nivel mayor de complejidad (Andrade, 2011). En este sentido, el estudio de las respuestas de las plantas al estrés es un aspecto fundamental de la fisiología ambiental o ecofisiología, la cual se propone conocer cómo las plantas funcionan en sus ambientes naturales y cuáles son los patrones que determinan su distribución, supervivencia y crecimiento (Valladares, 2004).

El cacao bajo sus condiciones naturales, sobrevive gracias al equilibrio biológico existente en el medio donde crece. El hombre ha mejorado su ambiente natural por medio de prácticas de manejo, para permitir a la planta desarrollar toda su potencialidad y sus mejores rendimientos. Por ello, en la medida que se logre una mayor adaptabilidad y respuesta a las diferentes prácticas en forma conjunta con la modificación del ambiente, se obtendrían los mejores resultados.

Para lograr lo anterior, es indispensable conocer profundamente la relación entre la ecología y fisiología del cacaotero. La importancia de lo anterior radica en que se podrían determinar fácilmente los factores limitantes del crecimiento y desarrollo del cultivo en función de modificarlos o rectificarlos, además de la posibilidad de obtener las zonas potenciales para el establecimiento del cultivo (González, 2007).

Debido a la influencia de la ecología en el comportamiento fisiológico de la planta, el desconocimiento de las características ambientales idóneas para el cultivo, puede ser fatal para el productor. En Ghana por ejemplo, se estima que bajo ciertas condiciones se sufren pérdidas de $1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cacao, debido a la ignorancia de los efectos del ambiente,

resultando esta pérdida diez veces mayor que la causada por enfermedades de la mazorca y el daño por roedores (ICCO, 2010).

2.4.1. Influencia de los factores climáticos en el crecimiento y desarrollo del cacao

Las plantas ejecutan el proceso de fotosíntesis, donde se convierte CO₂ y energía luminosa en carbohidratos por medio de las hojas. El proceso fotosintético constituye para las plantas, la vía que permite la acumulación de materia orgánica, es decir, la biomasa (Santos *et al.*, 2009). Sobre este proceso natural influyen un conjunto de factores del medio ambiente físico y biológico, que retardan o aceleran el proceso fotosintético, a la par de otros procesos fisiológicos tales como: respiración, crecimiento, nutrición, germinación, floración, fructificación, etc, que se desarrollan en las plantas, e influyen en la productividad de los cultivos.

Cheng *et al.* (2008) informaron que la fisiología de la planta está gobernada primeramente por su genotipo, y su expresión cabal está modificada por los factores del medio ambiente como el clima y el suelo, así como por las prácticas culturales.

El clima constituye un factor de extraordinaria importancia para el desarrollo y crecimiento de las plantas, así como su distribución en el mundo. Las variables climáticas, dentro de ellos la temperatura y las precipitaciones, son las que más influyen en los procesos fisiológicos de las mismas, limitando o favoreciendo el comportamiento de los principales procesos que permiten la productividad de los cultivos, y que se puedan lograr los potenciales de rendimiento.

En este sentido, Soto *et al.* (2009) señalan que el rendimiento es el resultado final de un grupo de interacciones, donde intervienen el genotipo, el clima, el suelo y el manejo del cultivo. El impacto de los distintos parámetros que intervienen en estas variables del sistema, definen la fenología y el rendimiento de los cultivos.

En este contexto, resulta importante tener en cuenta que la ecofisiología es la ciencia que estudia la relación entre los organismos y los factores del ecosistema, los cuales se pueden clasificar entre bióticos y abióticos. Dentro de los abióticos se encuentra el clima y sus diferentes variables que definen la ubicación de las plantas.

El estudio de la influencia de los factores climáticos sobre los organismos, es de suma importancia, para dar respuesta al lugar más adecuado para el desarrollo de los mismos, debido a que las plantas son organismos incapaces de moverse de un lugar a otro en busca del ambiente más adecuado para su crecimiento (Tadeo y Gómez, 2008). Por tanto, éstas pueden estar sometidas frecuentemente a situaciones de estrés medioambiental.

Según Alvim (1984), los factores climáticos que más afectan la intensidad del crecimiento y la floración del cacao son la cantidad y distribución de las lluvias (o disponibilidad de agua), además de la temperatura. Batista (2009) coincide en que estos factores limitan las zonas para el desarrollo del cacao.

Por otro lado, la radiación solar y la humedad relativa, obviamente, afectan los procesos fisiológicos en la planta, pero se piensa que no juegan un papel tan importante como las precipitaciones y la temperatura, en definir las limitaciones ecológicas del cultivo (Balasimiha *et al.*, 1991).

2.4.1.1. Las precipitaciones

El agua constituye en los seres vivos, y en especial en las plantas, un factor de vital importancia. Esto se puede comprender si se analizan las funciones que desempeñan en la fisiología de éstas. Es el principal componente del citoplasma; es el solvente en el que se disuelven los nutrientes minerales en el suelo, entran en la planta y se transportan dentro de ésta, tanto dichos nutrientes como los fotosintatos y otros productos de la actividad metabólica (Pezeshki, 2001).

Es además, el medio en el que ocurren algunas reacciones metabólicas; en el proceso de la fotosíntesis, es la fuente de electrones en la reducción del CO₂; imparte turgencia a las células en crecimiento, lo que hace que estas mantengan su forma y estructura. Es la sustancia que se absorbe y se pierde en mayores cantidades por las plantas y representa el 80 % y más de la masa fresca del vegetal, en dependencia de la especie que se trate (Tadeo y Gómez, 2008).

Tradicionalmente *Theobroma cacao* L., es una especie cultivada en zonas caracterizadas por un régimen pluviométrico alto (1 800 mm - 2 500 mm), temperaturas entre los 20 °C y 32 °C, altitud menor de 600 msnm, bajo la sombra de sistemas agroforestales e intentando simular las condiciones de su hábitat natural (Tezara *et al.*, 2009).

El cacao es una especie que evolucionó en ambientes del sub-bosque de las selvas tropicales, que se caracterizan por su alta precipitación y reducida disponibilidad de luz (Baligar *et al.*, 2008). Los mismos autores informaron que el déficit hídrico especialmente cuanto más acentuado, reduce la fructificación por acción inhibitoria sobre la floración, pudiendo además provocar las pérdidas de frutos jóvenes.

La precipitación influye no sólo por su abundancia, intensidad y duración, sino también por su distribución anual. Este último es el responsable de los diferentes patrones de cosecha de cada región (Leal *et al.*, 1999). En áreas donde las precipitaciones son menores de 1 200 mm.año⁻¹, el cacao producirá exitosamente sólo si se usan riegos complementarios; tal es el caso, de los valles costeros del estado Aragua, Venezuela, donde la precipitación oscila entre los 700 mm - 800 mm. Por tanto, se plantea que la cantidad de lluvia que satisface al cultivo oscila entre 1 500 mm – 2 500 mm en las zonas más cálidas y en 1 000 mm - 1 500 mm en las zonas más frescas o en los valles más altos (Alvim, 1977).

En cuanto a la distribución de las precipitaciones, Gonzáles (2007) plantea que una buena distribución de las lluvias es más conveniente para la producción de cacao, que una precipitación estacionaria en cualquiera de los dos semestres. Por ello, en aquellas zonas donde es muy prolongada la estación seca, y se concentran las lluvias en un corto tiempo, puede causar reducción de las cosechas por disminución en la floración, cuajamiento de frutos y desarrollo de las mazorcas.

El agua influye en los siguientes procesos fisiológicos: floración, apertura estomática y en el crecimiento vegetativo. En zonas donde la estación es considerada "seca", la floración será baja y por consiguiente la producción de frutos. Según Márquez (1998), el cacao es muy sensible a la deficiencia hídrica, pues cuando el contenido de agua utilizable en el suelo es menor del 60 %, se cierran los estomas y se detiene el crecimiento por debajo de 1/3 del agua utilizable.

El contenido de humedad de las hojas fluctúa de acuerdo con la humedad del suelo en que dicha planta está creciendo. Conforme disminuye el contenido de humedad de las hojas, hasta un punto inferior a cierto valor crítico (95,5 %), los estomas comienzan a cerrarse. Alvim y Reyes (1981) determinaron que el crecimiento vegetativo sufre una reducción importante, cuando el contenido de agua del suelo se hace inferior a los 2/3 del agua utilizable ($\pm 66,66$ %).

Estudios realizados en Venezuela sobre la respuesta fisiológica del cacao en diferentes cultivares criollos, se encontró una diferenciación notable en las características fisiológicas entre los mismos en temporadas lluviosas, que indican una alta plasticidad fenotípica y/o fisiológica, los cuales permitieron seleccionar algunos cultivares para diferentes ambientes o para maximizar la producción (Pereyra, 2007; Pereira *et al.*, 2007).

Los resultados coinciden con lo informado por Barrera (2006), quien encontró diferencias en las tasas de asimilación de CO₂ en período lluvioso y poco lluvioso, en

diferentes condiciones de luz entre los cultivares Porcelana y Guasare, además de diferencias en las respuestas de cierre estomático en momentos de poca disponibilidad de agua.

Estos autores informaron además, la variabilidad de respuestas que se pueden encontrar en los diferentes cultivares ante variaciones de la temperatura, luz y humedad. Señalaron que las plantas por lo general manifiestan ciertos ajustes osmóticos, y que ello guarda relación con las diferencias en las eficiencias de uso de agua que se presentan entre cultivares.

Experimentos desarrollados por Nickum *et al.* (2010) con mamey (*Pouteria sapota* L.) en condiciones de exceso de humedad, demostraron una disminución de la apertura estomática después de tres días de inundación.

Los principales mecanismos que utilizan las plantas para contrarrestar el estrés por sequía, se basan en cambios en los niveles de prolina y hormonales (Vendruscolo *et al.*, 2007). Estos últimos permiten redirigir el transporte del ácido abscísico (ABA) desde las raíces hacia las hojas (Liu *et al.*, 2007), donde inducen el cierre estomático para contrarrestar el déficit hídrico.

Con respecto a la disponibilidad de agua, existen informes que tanto por déficit como por excesos, las plantas de cacao se ajustan osmóticamente para evitar efectos negativos en su normal crecimiento y desarrollo (Rada *et al.*, 2005 y Vespa, 2008).

2.4.1.2. La temperatura

Las plantas, como los animales, precisan tener su temperatura regulada para funcionar con un óptimo de eficiencia fisiológica y ésta controla la tasa de desarrollo de muchos organismos que requieren de la acumulación de cierta cantidad de calor, para pasar de un estado en su ciclo de vida a otro (Rodríguez, 2006 y Xiao, 2007).

Según Barrios y López (2009), la temperatura del aire en los trópicos está controlada fundamentalmente por la radiación. Por tanto, los trópicos son definidos climatológicamente

como áreas cuyas variaciones diurnas de temperatura exceden las variaciones anuales; para los autores anteriormente señalados, tanto la temperatura como la radiación solar, tienden a ser relativamente uniformes a lo largo de grandes áreas, siendo la altitud el factor que afecta en mayor medida la uniformidad térmica.

De acuerdo con De Armas *et al.* (1988) a bajas temperaturas las velocidades fotosintéticas son muy bajas; cuando la temperatura aumenta, se incrementa notablemente la velocidad de la fotosíntesis, por encima de un cierto valor (30-35 °C), donde ésta comienza a disminuir de forma brusca, ya que la planta es incapaz de soportar tales temperaturas. Por otro lado, Kubien y Safe (2008) informaron que en el clima tropical, las plantas alcanzan la respiración y la fotosíntesis netas óptimas a los 25 °C.

La temperatura condiciona la velocidad de las reacciones químicas catalizadas enzimáticamente, modifica la estructura y la actividad de las macromoléculas y determina el estado físico del agua. El estrés tanto por calor como por frío, provoca pérdida de semipermeabilidad, ya que modifica la microviscosidad o fluidez de las membranas (Xiong *et al.*, 2010).

La temperatura promedio óptima para el cacao es de 25,5 °C y una amplitud térmica diaria de ≤ 9 °C. Dichos requisitos de temperatura es para que el cacao tenga un crecimiento regular, una floración y fructificación abundantes, brotes foliares normales y bien repartidos a lo largo del año, además de una alta producción, siempre y cuando los demás factores sean óptimos, particularmente la humedad del suelo, que es el factor ambiental que modifica o encubre los efectos de la temperatura (Hernández, 1987).

En las zonas productoras donde no se observan cambios bruscos de temperatura en las diferentes épocas del año y donde la media es de 25 °C, se observa una producción casi continua de mazorcas de cacao. Por su parte, las altas temperaturas pueden afectar las raíces superficiales de la planta del cacao limitando su capacidad de absorción, por lo que

se recomienda proteger el suelo con la hojarasca existente; sin embargo, en zonas hacia los 1 200 m de altura pueden existir cambios de temperatura que afectan principalmente el crecimiento vegetativo, el desarrollo de los frutos y la intensidad de la floración por la disminución de la misma (González, 2007).

Estudios realizados en Costa Rica, Ghana y Brasil, coinciden en que las altas temperaturas inducen la brotación de nuevas hojas. En Trinidad y Tobago observaron que a temperaturas de 30 °C, esta fue seis veces superior que a temperaturas de 22 °C (Enríquez, 2001). El mismo autor explicó que los procesos de floración y fructificación son abundantes con temperatura promedio diurna del mes mayor de 23 °C y una amplitud térmica de 9 °C.

Con relación a la maduración de frutos, Mejía (2005) señaló que ésta es más rápida a altas temperaturas (32 °C) que a temperaturas más bajas (28 °C). También indicó que a 32 °C las mazorcas de diez semanas midieron 9,9 cm de largo y a 27 °C solamente llegaban a 8,5 cm. Por tanto, las temperaturas influyen en la maduración y en el tamaño del fruto.

2.4.1.3. Radiación solar

Las relaciones entre la radiación solar y la conducta fisiológica del árbol del cacao, son más comprendidas en la actualidad. La luz es otro de los factores ambientales de importancia para el desarrollo del cacao y con influencia en los procesos fisiológicos por estar relacionada con la fotosíntesis. La iluminación comprende la intensidad, calidad y duración, cualidades de la luz que se deben tener en cuenta para la fotosíntesis, siendo la intensidad de luz, la más importante a ser considerada para el establecimiento de una plantación de cacao (Tezara *et al.*, 2009).

Por lo general en las plantas perennes como los frutales, la disponibilidad de luz incidente es el factor que ejerce la mayor influencia en la fotosíntesis. También la intensidad y

duración de la iluminación son factores determinantes de la floración y la fructificación, pues éstos son menos abundantes a la sombra que a plena luz (Gandolfo, 2008).

La intensidad lumínica se debe relacionar con las prácticas de manejo y con la latitud geográfica, sobre todo por las tecnologías de producir el cacao bajo sombra en función de lograr un mayor equilibrio en el agroecosistema. En este contexto, Quiroz y Mestanza (2012), informaron que el cacao es un árbol tolerante a la sombra, pero no es específicamente un árbol de sombra. Al respecto, se ha informado que las plantas de cacao se saturan a densidades de flujo fotónico comprendidas entre $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, intensidades que constituyen entre 25 % y 30 % de la radiación máxima en un día despejado. Esto comprueba la necesidad de mantener las plantas de cacao bajo sombra parcial tanto en etapa de crecimiento como de producción (Jaimez *et al.*, 2008).

Experimentos desarrollados por Gómez (2003) con el cacao criollo Guasare a diferentes intensidades lumínicas, demostró que la tasa de transpiración fue mayor a plena exposición solar, sin embargo, los mayores valores de asimilación se lograron a 40 % y 60 % de luz, además de lograr mayores diámetros del tronco y alturas en plantas creciendo a un 20 y 40 % de ésta. Todo ello indica la necesidad de cultivar el cacao bajo sombra (Almeida y Valle, 2007).

Dentro de los efectos de la iluminación directa, es posible mencionar la afectación a tres procesos importantes de la planta: la fotosíntesis, el movimiento de los estomas y la expansión celular de ciertos tejidos (Baligar *et al.*, 2008).

2.4.2. Influencia de los factores edáficos en el crecimiento y desarrollo del cacao

El suelo siempre debe considerarse parte integrante de un mismo sistema físico junto con las características de las plantas y de la atmósfera, debido a la interrelación entre ellos. Las condiciones climáticas influyen en los procesos de formación del suelo y a su vez en el comportamiento de las plantas. Al mismo tiempo las condiciones particulares del suelo

(características físicas, químicas y biológicas) determinan el crecimiento de la planta y logra un comportamiento diferenciado en correspondencia con el efecto de los factores climáticos.

El cacao requiere de suelos que retengan suficiente humedad durante la estación seca y a la vez que exista una buena circulación de aire y humedad (buen drenaje y aireación), requisitos que son opuestos y por tanto difíciles de conseguir (Batista, 2009). Por tanto, se deberán seleccionar los suelos cuyas características físicas respondan a esas exigencias del cultivo.

Hernández (1987) informó, que la profundidad efectiva, la textura y estructura, juegan un rol fundamental, cuyas características dependen de la naturaleza de los suelos. Por lo tanto, el comportamiento de estas variables está relacionado con el agrupamiento.

2.4.2.1. La profundidad del suelo

Dentro de las características de los suelos a tener en cuenta para obtener un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo basado en el desarrollo de su sistema radical, se encuentra la profundidad. Este es uno de los elementos que determinan la cantidad de agua susceptible de ser almacenada en el suelo y la disponibilidad de ella a las raíces.

Por lo tanto, el suelo deberá ser más profundo mientras más insuficientes y mal distribuidas sean las precipitaciones, pero cuando existan problemas de inundación deberán ser más arenosos y permeables.

Según Márquez (1999), los suelos adecuados que determinan el normal desarrollo del sistema radical, son aquellos cuya profundidad efectiva no sea menor de 0,60 m. Por otro lado, Sánchez *et al.* (2005), informaron que el sistema radical de esta planta parece ser más sensible que otros cultivos y requiere de suelos en los cuales las raíces puedan penetrar fácilmente y que permitan la libre circulación de aire.

Sin embargo, investigaciones realizadas en el Estado de Trujillo, Venezuela, por Jaimes y Mendoza (2004) en temas relacionados con la evaluación física de tierras para cuatro sistemas agroforestales incluyendo el cacao, demostraron capacidades de adaptabilidad moderada a baja, ante las condiciones de enraizamiento relacionadas con la poca profundidad de los suelos.

2.4.2.2. Textura y estructura del suelo

Para una correcta selección de suelos existen dos tipos de análisis: físicos y químicos. Las condiciones físicas de un suelo no se pueden modificar fácilmente, y de aplicar técnicas de manejo para mejorar algunas de ellas, implicaría significativos gastos económicos. Por ello, los terrenos que no cumplan los requisitos mínimos, deberán ser descartados. Sin embargo, las condiciones químicas del suelo pueden ser modificadas más fácilmente por el hombre, aunque estas modificaciones también pueden ser notables y elevar los costos de la inversión.

En consecuencia, las propiedades físicas se consideran las más apropiadas para la selección de los suelos en función del establecimiento del cultivo del cacao, aspecto que coincide con lo informado por Paredes (2004). Dentro de ellas la textura y estructura juegan un rol fundamental.

Según el mismo autor, la textura del suelo está relacionada con la retención de humedad y la fertilidad del suelo. En zonas con adecuada pluviometría, podría ser aceptable un suelo arenoso siempre y cuando tenga un buen estado nutricional, las lluvias sean fuertes, continuas y que el tamaño de partícula permita la penetración de las raicillas. En cambio en lugares donde la pluviosidad sea menor, lo más importante del suelo sería su poder de retención de agua, para el cual serían recomendables los suelos con un contenido de arcilla entre 30 % - 50 %, como los franco-arcillosos de estructura agregada.

Varios autores, entre ellos Vera *et al.* (2000), Vivas *et al.* (2005) y Quiroz y Mestanza (2012), coinciden en informar que los suelos buenos para cacao son los franco-arcillosos hasta franco-arenosos. De éstos, el mejor resulta el franco-arcilloso de estructura agregada el cual permitiría una buena retención de agua y a la vez buena aireación y drenaje.

Los suelos para el cacao deberán tener además una buena estructura, la cual está estrechamente ligada a la textura. El tamaño de los poros y la constitución de los agregados determinan la permeabilidad del suelo al agua, aire y la facilidad de penetración de las raíces, además de la capacidad de retención de agua. Por ello, es importante que la estructura no se destruya, por lo que la más idónea es la granular (Vera *et al.*, 2000; Gómez y Azocar, 2002).

2.5. La zonificación agroecológica de los cultivos. Importancia

Son varias las definiciones que diferentes autores han emitido sobre la zonificación agroecológica de los cultivos, sin embargo; todas permiten la delimitación de superficies homogéneas que suplan los requerimientos de los mismos.

Esta permite la distribución de las plantas en una determinada área, región o país, conforme a sus exigencias agroecológicas, a lo que se debe añadir, según Benacchio (1984 a), “a su capacidad de conservación del potencial productivo del área”. Desde el punto de vista de su importancia, Silva *et al.* (1994) informaron que la zonificación agroecológica es una de las principales herramientas para disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura.

De acuerdo con los criterios de FAO (1997), la zonificación agroecológica (ZAE) define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición, se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo donde éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la

situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos.

Según Durán y Torres (2001), la zonificación agroecológica es un método que permite delimitar en una región, los sectores con características físicas, socioeconómicas y ecológicas homogéneas, para describir y jerarquizar la naturaleza de los problemas de todo tipo que enfrenta su población, permitiendo formular hipótesis en cuanto a la problemática agraria que enfrentan las zonas identificadas.

Espinosa y Orquera (2007) informaron, que 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.

Con el proceso de zonificación se debe buscar la delimitación de espacios geográficos que se constituyan en unidades territoriales operativas de manejo y gestión, se debe buscar que la zonificación no sea un proyecto coyuntural, a corto plazo, o sea que no respondan únicamente al momento y a los cambios de planes y estrategias de las políticas de un territorio, sino que sea lo suficientemente elástica como para adaptarse a los cambios políticos. La zonificación debe realizarse con una visión retrospectiva, o sea, generar el conocimiento de como se dan los procesos de formación del espacio, además de una visión proyectiva, es decir, deberá generar las alternativas para dichos espacios.

La zonificación de cultivos presenta gran originalidad por la cantidad de criterios que considera tales como: climáticos, biológicos, agronómicos y geográficos. Por ello, su carácter multidisciplinario ayuda a tomar decisiones con un fundamento mas integral y de sistema (García *et al.*, 2005).

En el mundo hoy se integran la zonificación agroecológica que tiene en cuenta aspectos biofísicos, con la zonificación socioeconómica, la cual tiene en cuenta los aspectos

socioeconómicos, originando la zonificación ecológica - económica (ZEE). En Brasil, Mota *et al.* (2008) identificaron las formas de uso de la tierra por medio de la participación de actores claves en el estado de Pará, dentro de un trabajo de zonificación agrosocioeconómica participativa. Por otro lado, Pineda (2011) realizó la zonificación agroecológica participativa de comunidades vinculadas con una cooperativa en Cochapamba, Cantón Ibarra, provincia de Imbabura, Ecuador.

Cuando se combina con un inventario de usos de tierras, expresado como tipos de utilización de tierra y sus requisitos ecológicos específicos, la zonificación puede usarse entonces como base de una metodología para evaluar los recursos de tierras. La suma de otras capas de información; tales como la tenencia y disponibilidad de tierras, los requisitos nutricionales de las poblaciones humana y ganadera, las infraestructuras, costos y precios; hace de la zonificación agroecológica, aplicaciones más avanzadas en el análisis de los recursos naturales y la planificación de usos de tierras.

La UNESCO a través de la FAO, impulsó la creación de zonas agroclimáticas apoyando trabajos de investigación en el África subtropical cuando en la década de los 70 se presentó una grave y prolongada sequía provocando serios daños a la agricultura y consecuentemente a la población y a su economía. Como resultado de estos trabajos, se desarrolló un sistema de evaluación de tierras y uno de los puntos centrales fue la creación de las zonas agroecológicas (FAO, 1978 y Kassan *et al.*, 1991).

La FAO ha dedicado una atención considerable al desarrollo de procedimientos para inventariar, evaluar y planificar los recursos de tierras, tanto a nivel global, como en regiones y países concretos a través de sus programas de campo. La finalización del Mapa de suelos del mundo a escala 1:5 000 000, junto con un sistema de clasificación de suelos normalizado (FAO, 1974), supuso un estímulo para la evaluación global y comparativa de los recursos de tierras.

En 1976 el Marco para la Evaluación de Tierras (FAO, 1976), establecía la aproximación conceptual y la orientación metodológica para la evaluación de la aptitud de tierras. Este Marco está basado en la evaluación de las condiciones de tierras de acuerdo a los requerimientos específicos de los tipos de usos de tierras definidos. Esta aproximación ecológica marcó una diferenciación radical de los sistemas anteriores de estimación de los recursos de tierras, y propició un amplio rango de aplicaciones.

El Proyecto Zonas Agroecológicas (FAO, 1978) fue un primer ejercicio en la aplicación de la evaluación de tierras a una escala continental. La metodología usada fue innovadora en caracterizar extensiones de tierra por medio de información cuantificada de clima, suelos y otros factores físicos, que se utilizaron para predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades específicas de entorno y manejo.

La FAO (1983), generó un procedimiento que ha sido considerado como modelo para el desarrollo de trabajos de evaluación de tierras, dirigidos a la agricultura de temporal y otros usos a escalas pequeñas. El procedimiento comprendió, la valoración preliminar de la tierra sobre criterios físicos y el análisis económico-social de las alternativas más viables. Sin embargo; este procedimiento aún no fue aceptado ampliamente, porque su implementación y las aproximaciones metodológicas varían en relación a las condiciones particulares de cada país (Verheye, 1993).

De cualquier forma, esta fue la primera serie de resultados del proyecto sobre la ZAE, donde se estimó la aptitud de tierra para 11 cultivos y tres niveles de insumos, en cinco regiones del mundo en desarrollo. En la presentación de los resultados de este estudio, en la conferencia de FAO (1983) se recomendó que estudios similares se emprendieran a nivel nacional. Ya entonces, FAO había estado ayudando a varios países, incluyendo a Mozambique, Kenia, China, Bangladesh, Nepal, Nigeria y Brasil, mostrándoles la

metodología, y aplicando los resultados para hacer frente a problemas de tierras, alimentos, y población en sus provincias y distritos componentes.

La FAO (1996), apoyó el desarrollo de talleres con expertos en evaluación de tierras con el propósito de asegurar la producción de alimentos bajo la óptica de la sustentabilidad. Como resultado de estos talleres, varios países como Argentina, Brasil, Colombia y Bolivia, han realizado trabajos con buenos resultados y diferentes aplicaciones.

Es entonces cuando la FAO (1997) propone una metodología como guía general, elaborada por los resultados de la recopilación de diferentes documentos que responden a la más reciente versión de la metodología ZAE aplicada en Kenia y que puede ser adaptada a las diferentes condiciones, fundamentalmente a iniciativas propias.

En correspondencia con los fundamentos de la ZAE expuesta por la FAO (1997), existen diversas propuestas de zonificación con diferentes prioridades, sin embargo en ellas prevalecen las condiciones ecológicas, tales como clima, suelo y la fisiografía, que permiten definir las unidades con una mayor uniformidad, originando así la zonificación edafoclimática (ZEC) de forma particular.

Una zonificación edafoclimática, corresponde a la detección de áreas geográficas homogéneas en sus características climáticas y edáficas, aspectos que desde el punto de vista general contiene la zonificación agroecológica. En correspondencia con los nuevos principios y conceptos de la agroecología, una ZAE deberá considerar los aspectos socioculturales y económicos, además de los edafoclimáticos.

En este contexto, la mayoría de los trabajos de investigación donde se realiza la zonificación en el mundo, se ejecutan sobre la base de los factores edafoclimáticos, ya que se basan en el comportamiento del clima y del suelo, por tanto, se corresponden particularmente a una zonificación edafoclimática, aún cuando se trate de realizar la zonificación agroecológica.

2.5.1. Aspectos metodológicos de la zonificación agroecológica

El Boletín no. 73 de la FAO (1997), explica la metodología más actualizada para la realización de los estudios de la zonificación agroecológica de los cultivos. En el prólogo de esta publicación, se explica las continuas extensiones y revisiones realizadas a esta metodología, además del desarrollo de interfases con Sistemas de Información Geográfica (SIG), que han facilitado la extensión de bases de datos ZAE para implementar un amplio rango de evaluaciones, sobre recursos naturales como base para una agricultura sostenible.

La FAO, ha prestado ayuda directa a varios países en el uso, aplicación y adaptación de la metodología ZAE a las condiciones locales, por lo que han surgido diferentes variantes de dicha metodología (FAO, 2006 a).

Los procedimientos descritos en esta edición, se presentan como una guía opcional para ayudar a los técnicos a mejorar sus propias evaluaciones de recursos de tierras y aguas, así como las decisiones sobre su uso. Esta metodología, intenta facilitar al usuario un conocimiento de los procedimientos, de forma tal que ellos puedan poner en práctica o adaptarlos de acuerdo con los objetivos específicos del estudio de ZAE y de los recursos disponibles. Se explica que el usuario antes de aplicar los procedimientos ZAE, deberá tener claros los conceptos básicos, así como entender las posibilidades y limitaciones de la metodología.

Según Castillo (2001), para que la ZAE pueda ser utilizada como instrumento para el diseño y aplicación de una política de agricultura sostenible, es necesario ajustar su metodología en función de la información disponible y los usos actuales y alternativos, compatibles con la realidad y potencial agrícola de la región. Debe proveer además los elementos requeridos para determinar viabilidad económica, impacto ambiental y aceptabilidad social, que permitan establecer usos sostenibles.

Lo anteriormente expuesto, significa que la aplicación de la metodología ZAE descrita por la FAO, está sujeta a las condiciones particulares de cada región, que hace posible que no sea generalizable a las diferentes localidades y tipos de uso de la tierra, por lo que deberá ser adaptada a los objetivos trazados en cada estudio.

Warnock (1989), en la búsqueda de información sobre las metodologías para realizar la zonificación agroecológica de la soya, informó que aún cuando la literatura indica que son escasos los estudios de zonificación para soya, se hace evidente al revisar los trabajos publicados, que los métodos de zonificación utilizados para otros cultivos son múltiples y la obtención de una precisión aceptable, dependerá en muchos casos del uso de la técnica adecuada.

Para el caso particular de Cuba, la aplicación de esta metodología encuentra determinadas limitantes, y las mismas se acentúan cuando se trata de su aplicación para los cultivos perennes, como es el caso del cultivo del cacao y más aún para las condiciones de montaña, donde existe una alta variabilidad del relieve, como ejemplo en los agroecosistemas del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa.

Las principales limitaciones que presenta esta metodología para su aplicación en el cultivo del cacao y en este grupo montañoso se describe a continuación:

Para realizar la recopilación de adaptabilidad climática a los cultivos tal y como lo explica los procedimientos de la FAO, hay que tener en cuenta las variables relacionadas con los requerimientos fenológicos de los mismos, rangos térmicos y características fotosintéticas.

Con respecto a los requerimientos fenológicos, la metodología explica la relación entre las variables del clima (temperatura y precipitaciones), con las exigencias de cada una de las fases de los cultivos, en función de determinar la duración del período de crecimiento (DPC). Este indicador, es una herramienta adecuada para estimar el tiempo y las fases

(dentro del ciclo anual del cultivo) en los cuales existe humedad en el suelo para el crecimiento del mismo.

Para el caso particular del cultivo del cacao y en correspondencia con el comportamiento climático de las regiones montañosas de Cuba, algunas fases fenológicas ocurren al mismo tiempo. Así, se pueden encontrar en una misma época procesos como la floración y la fructificación; lo cual implica una limitación para analizar este indicador por fases del cultivo.

Por otra parte, y pese a lo anteriormente expuesto, la FAO (1996) reconoce que en el caso de los tipos de uso de tierra (TUT) para cultivos perennes, como el cacao, la DPC no es el mejor indicador para evaluar la aptitud climática de las regiones. Recomiendan que los mejores indicadores para evaluar la aptitud climática de las celdas agroecológicas de los TUT que incluyen estos cultivos, sean la cuantificación de la magnitud o la duración del déficit hídrico (período donde la precipitación es inferior a la evapotranspiración del cultivo).

Para determinar la evapotranspiración del cultivo (ETc), es necesario la determinación de la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc).

La determinación del déficit hídrico para evaluar la aptitud climática en regiones montañosas, encuentra las limitantes por la necesidad de calcular lo más efectiva y representativa posible, la evapotranspiración de referencia (ETo), y con ello calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc) a partir del coeficiente del cultivo (Kc). En la actualidad, para obtener la ETo, se emplea la fórmula FAO de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006), los cuales consideran diferentes variables tales como: temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación solar y velocidad de los vientos.

Bajo estas condiciones, existen determinadas limitaciones para determinar y usar confiablemente estas variables a una mayor escala de trabajo, debido a la escasa cantidad

de estaciones meteorológicas en las regiones montañosas. Ello hace posible, que los cálculos en zonas específicas no sean representativos de la totalidad del área estudiada, con excepción de la temperatura que se puede estimar a partir del gradiente de vertical de la misma.

Las problemáticas para la determinación de la evapotranspiración del cultivo, están relacionadas con el análisis de la radiación solar y la velocidad de los vientos. El uso de estas variables está limitado por las siguientes consideraciones:

Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, la cantidad potencial de radiación que llega a la superficie, es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año (FAO, 2006 b).

En consecuencia, los cambios bruscos del relieve y posición de la ladera en esta región, determinan heterogeneidad en el comportamiento de la radiación solar respecto a las plantaciones de cacao. Ello, unido a que las mismas culturalmente se encuentran bajo la sombra de especies arbóreas, hace poco confiable tener en cuenta informaciones específicas de estaciones meteorológicas sobre esta variable, para que se pueda extrapolar y ser representativa al resto de la región.

Por otro lado, la radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera, y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación. Bajo las condiciones específicas de este grupo montañoso, la nubosidad varía en correspondencia con la altitud y la localización espacial. Por tanto, la medición de la nubosidad originadas de las estaciones meteorológicas en determinados puntos del macizo montañoso, no llegan a ser representativas de toda la región, por lo que se pudiera caer en mayor incongruencia si se determina la evapotranspiración con esta información.

Bajo condiciones húmedas, la velocidad del viento afecta la evapotranspiración en un grado mucho menos importante que bajo climas áridos, donde las variaciones pequeñas en la velocidad del viento pueden dar lugar a importantes variaciones en la evapotranspiración (FAO, 2006 b). El macizo montañoso objeto de estudio, presenta un clima tropical lluvioso (Af), donde la humedad originada por el régimen pluviométrico, es notable (Durán, 2002), y con ello menor influencia sobre la evapotranspiración del cultivo.

No obstante, según la orografía de esta región, la influencia de los vientos sobre la evapotranspiración del cultivo, varía en correspondencia con la posición de la ladera y su relación con la dirección de los mismos (sotavento y barlovento), la altura y la propia localización de las plantaciones de cacao (Solano, 2013).

Por todo lo anteriormente expuesto, y en correspondencia con las limitaciones de la metodología, más del 95 % de la literatura internacional sobre el tema, hacen alusión a la metodología sólo para explicar las adecuaciones particulares que han realizado de acuerdo a sus propias experiencias y condiciones particulares locales.

Varias son las investigaciones realizadas sobre la ZAE que no aplican la metodología de la FAO (1997), entre ellas se encuentra la citada por Benavides (1980) el cual propuso una metodología de zonificación basada en una función de producción, dando lugar a los estudios de zonificación de tipo cuantitativo, los cuales agrupan modelos que permiten predecir los rendimientos. Un ejemplo de ello, es la aplicación del modelo SUCROS para el cultivo de la soya descrito por Warnock (1989).

Landa (2001) realizó la ZAE para el cultivo de la Guanábana en un sector de la zona centro del Estado de Veracruz, México, sólo a partir del análisis edafomorfométrico de la región. Sin embargo; Gómez y Azócar (2002) determinaron las áreas potenciales (óptimas y con ligeras restricciones) para el cultivo del cacao en el Estado de Mérida, Venezuela, por

medio de los requerimientos agroecológicos del cultivo (temperatura, precipitación y suelos) y las características edafoclimática de la región.

Por otra parte, Ravelo y Planchuelo (2003) en Argentina, determinaron la aptitud agroecológica de la Pradera Pampeana para el cultivo del Lupino Blanco, sin utilizar la metodología de la FAO.

Inzunza *et al.* (2006) determinaron las zonas agroecológicas para el maíz, frijol, trigo y sorgo, a partir de las temperaturas máximas y mínimas del aire en 22 estaciones meteorológicas, además de la información edafológica. Trabajos similares en la misma región fueron realizados por Villa *et al.* (2001) en la zonificación agroecológica de las hortalizas: melón, sandía, tomate y chile.

Existen investigaciones sobre el tema que no hacen alusión a metodología alguna. No obstante, según la descripción, los métodos utilizados no se corresponden con lo descrito por la FAO. Entre ellas se encuentran los trabajos realizados por Leal (1999) en Venezuela, Rodríguez (2002) en Colombia, Llach *et al.* (2007) y Martínez *et al.* (2007), en México, entre otros.

Diferentes autores adaptan la metodología a sus condiciones específicas de investigación, como es el caso de Zambrano (1991) en Venezuela, Lozano *et al.* (2005) en Colombia, Espinosa y Orquera (2007) en Ecuador, Macedo *et al.* (2009) en Brasil, entre otros. Sin embargo, distintos autores aplican otras metodologías, como es el caso del trabajo de zonificación para el cafeto realizado por Arango (2007) en Puerto Rico, el cual utilizó la metodología usada por Rojas (1987) y complementada por Soto *et al.* (2001b).

Por otra parte, Duran y Torres (2001) estudiaron una metodología para la elaboración de una zonificación agroecológica y una tipología de productores en el cantón de Grecia, Costa Rica.

Aceves *et al.* (2008) determinó las zonas de alta potencialidad para el cultivo del Hule en el Estado de Tabasco, México a partir del Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de Cultivos Básicos en Condiciones de Temporal, descrita por Tijerina *et al.* (1990) y los procedimientos para la zonificación agroecológica propuesto por la FAO (1981).

Particularmente en Cuba, los trabajos más cercanos a la zonificación agroecológica del cacao, fueron los desarrollados por Soto *et al.* (2001 a, 2002 y 2007) cuando realizaron la ZAE para el cultivo del cafeto (*Coffea arabica*, L.) en diferentes grupos montañosos de Cuba, a partir de la metodología propuesta por Soto *et al.* (2001 b). La misma tiene en cuenta los aspectos biofísicos que más se relacionan con el cultivo del cafeto (*Coffea arabica*, L.) y logra una reducción de las metodologías ZAE anteriormente conocidas con un alto nivel de validación.

Sin embargo, en correspondencia con las particularidades del cultivo del cacao en Cuba y a partir de estos fundamentos, es importante desarrollar una nueva metodología o realizar adecuaciones a las existentes, que permita una mayor adaptación a las condiciones expresas de este cultivo para este grupo montañoso.

2.5.2. Principales antecedentes de los estudios de la zonificación agroecológica en Cuba

Los estudios de la zonificación agroecológica en Cuba no han avanzado lo suficiente como para emitir criterios importantes relacionados con los antecedentes. Algunos trabajos en temas relacionados con la zonificación agroecológica, se han venido ejecutando por varios autores y con importantes resultados.

Ruiz *et al.* (1993), citado por Soto *et al.* (2001 a) a través del Instituto de Suelos realizaron un estudio de zonificación para el cultivo del cafeto (*Coffea arabica*, L.) en el nordeste de la provincia Guantánamo. En los resultados obtenidos, se refieren a la existencia de

condiciones con características climáticas diferentes al resto de las regiones de Cuba y que la región posee positivas características edafológicas para el desarrollo del café en relación a los requerimientos, sin llegar a criterios de distribución y mapificación.

Herrera (2001) elaboró una metodología y realizó la zonificación agroclimática para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en agroecosistemas de la provincia Habana, donde corroboró la existencia de diferencias apreciables en el comportamiento agroclimático relacionado con la caña de azúcar en la región estudiada.

La zonificación agroclimática brinda las herramientas necesarias para el conocimiento más exacto del clima y el microclima de los sistemas agropecuarios con el fin de su mejoramiento (Rivera, 1994; Pereira, 1994; Gikuchi, 1994; Reddy, 1994). La zonificación agroclimática junto con la zonificación edáfica, determinan la zonificación agroecológica en correspondencia con los principales factores que influyen en la definición de los tipos de uso de las tierras: clima y suelo.

Soto *et al.* (2001 a) en el macizo montañoso Sagua-Nipe-Baracoa, Soto *et al.* (2002) en los macizos Sierra Maestra y Guamuhaya y Soto *et al.* (2007) en el macizo Guaniguanico, realizaron la zonificación agroecológica del café (*Coffea arabica*, L.), cuyos resultados demostraron la existencia de superficies para obtener potenciales productivos entre 0,9 t.ha⁻¹ y más de 2 t.ha⁻¹.

Solano *et al.* (2003 a, b, c y d) y Solano *et al.* (2004), realizaron la zonificación del período de crecimiento de la vegetación en Cuba para un año normal, para las fechas de inicio de las siembras de cultivos agrícolas en Cuba, para un año seco, de la precipitación en Cuba y de las reservas de humedad del suelo disponibles para los cultivos, con importantes resultados en función del establecimiento de los cultivos para que satisfagan sus requerimientos hídricos.

Garea *et al.* (2008) presentaron los resultados de una metodología para la obtención de zonificaciones agroecológicas de diferentes cultivos en las condiciones montañosas de Cuba. La metodología propuesta, combinó diferentes métodos de análisis (superposición de mapas raster y vectoriales, la reclasificación y un método de indexación binaria), para la obtención de mapas de zonificación agroecológica.

Lo anterior se obtuvo a partir de la combinación de datos espaciales y alfanuméricos, integrados a un SIG analítico y criterios de decisión ofrecidos por especialistas y expertos de las ciencias agrícolas. Sin embargo, estos autores expresan la necesidad de continuar perfeccionando la metodología propuesta para la integración de nuevos elementos a tener en cuenta en la determinación de las zonas agroecológicas.

En un sector del grupo orográfico de Guamuhaya, González (1999, 2009) realizaron la zonificación agroecológica del cafeto (*Coffea arabica*, L.), a partir del análisis de las condiciones edafoclimáticas y de relieve que influyen sobre el cultivo en el territorio, teniendo en cuenta el potencial productivo del mismo.

2.5.3. Herramientas informáticas para la zonificación agroecológica de los cultivos

Según la FAO (1997), dentro de las herramientas informáticas utilizadas en los estudios ZAE se encuentran los SIG, las bases de datos, modelos y paquetes integrados. La metodología que comúnmente se utiliza en los estudios ZAE, se ha adaptado al uso de computadoras para la manipulación de los datos. Las más avanzadas investigaciones sobre la ZAE, incorporan un conjunto de bases de datos relacionadas con los SIG y con modelos computacionales, alcanzando múltiples aplicaciones para la gestión de los recursos naturales y la planificación de sus usos.

La integración entre zonificación agroecológica y sistemas de información geográfica (SIG), juntos con procedimientos de criterios de expertos, permite a los estudios de Zonificación agroecológica ser ejecutados mucho más eficientemente (FAO, 1997).

Según Clarke (1995) y Harvey (2008), los SIG son sistemas automatizados con procedimientos diseñados para realizar la obtención, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de datos georeferenciados espacialmente para la solución de problemas complejos de planificación y gestión.

En general la información espacial se representa en forma de “capas”, en los que se describen la topografía, la disponibilidad de agua, los suelos, los bosques y praderas, el clima, la geología, la población, la propiedad de la tierra, los límites administrativos y la infraestructura.

Dentro de las funciones básicas de procesamiento de un SIG se encuentra el análisis que se puede realizar con los datos gráficos y no gráficos. Se puede especificar la función de la relación de los objetos sobre un área determinada. Del mismo modo, se puede especificar la función de coincidencia que se refiere a la superposición de objetos dispuestos sobre un mapa. Por ello, una de las funciones más importantes del SIG es la capacidad de combinar distintas capas en una sola operación, que se conoce con el nombre de “superposición”, técnica que es común en los estudios de zonificación agroecológica (Buzai y Baxendale, 2006).

Según Bolstad (2005), otra de las funciones de un sistema de información geográfica, es que puede describir la obtención de la información. Esta se logra mediante procesos de digitalización, procesamiento de imágenes de satélite, fotografías, videos, procesos aerofotogramétricos, entre otros.

La utilidad final del SIG radica en su capacidad para elaborar modelos, es decir, construir modelos del mundo real a partir de las bases de datos digitales y utilizar esos modelos para simular el efecto de un proceso específico en el tiempo para un determinado escenario. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que influyen en ellas, o para exponer las posibles consecuencias

de las decisiones o proyectos de planificación que repercuten en la utilización y ordenación de los recursos (Guimet *et al.*, 1991; Rubio y Gutiérrez, 1997; Carmona y Jairo, 2005).

En los últimos 20 años se han incrementado los trabajos de investigación sobre la Zonificación Agroecológica de los cultivos utilizando herramientas informáticas. Warnock (1989) utilizó el modelo SUCROS (*Simple and Universal Crop Growth Model*) para evaluar el potencial agroecológico de diferentes regiones de Venezuela, en relación al cultivo de soya [*Glycine max* (L.) Merr]. El modelo SUCROS estima el potencial de producción considerando que el agua y los nutrientes no son factores limitantes del crecimiento.

Estudios de zonificación agroecológica de los cultivos maíz, frijol, trigo y sorgo, realizados por Inzunza *et al.* (2006) utilizaron el Sistema de Información Geográfica IDRISI y el modelo digital de elevación, con positivos y confiables resultados.

Por otra parte, Moreno (2004) realizó un trabajo para determinar áreas homogéneas que permiten una zonificación agroecológica por cultivos con la aplicación de la Teledetección y los SIG en la Cuenca Baja del Río Guayas, ubicada en la parte oriental del Golfo de Guayaquil, Ecuador.

Particularmente en Cuba, la utilización de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta para la ayuda a la toma de decisiones en la agricultura, ha tenido una amplia utilización. En ocasiones sus aplicaciones se destinan para el inventario de recursos agrícolas y otras como herramientas de análisis para la generación de nueva información.

Garea (2004) utilizó los SIG en función de obtener modelos que permitieron la determinación espacial de los procesos degradativos en los suelos en la región oriental del país. Además, se realizaron estudios de zonificación agroecológica en condiciones de montañas mediante métodos de análisis espacial utilizando los beneficios de los SIG (Garea *et al.*, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación y selección del área de estudio

La investigación se desarrolló en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa ubicado en el extremo nordeste del país. Su centro se encuentra en los 20° 26' latitud Norte y los 74° 57' longitud Oeste. Limita al Norte y al Este con el Océano Atlántico, al Oeste con las llanuras de Nipe y la del Cauto, mientras que por el Sur lo hace con dos valles: el Central y el de Guantánamo (Google Earth, 2008).

Ocupa parte de las provincias de Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba. Su extensión abarca una superficie aproximada de 7 831,9 km² (Orlay y Martín 1999), que equivale a 783 190 ha. (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La selección del área de estudio se realizó sobre la base, de que en este macizo se encuentran los mayores antecedentes de la cultura y superficies dedicadas al desarrollo del cacao, a diferencia del resto de los macizos montañosos del país (Sierra Maestra, Guamuhaya y Guaniguanico).

3.2. Diseño metodológico

La metodología de estudio se fundamentó en los principios fundamentales de la agroecología y el esquema general de la investigación se elaboró a partir de la propuesta metodológica realizada por Soto *et al.* (2001 b), adecuada específicamente a los objetivos de la investigación. En este contexto se incorporaron dos nuevos procesos: la determinación de las bases para la zonificación edafoclimática por medio del criterio de expertos y el proceso de validación de los resultados. La misma estuvo conformada por cuatro etapas fundamentales (Figura 2):



Figura 2. Esquema general de la metodología de investigación

Etapa 1: Se definieron las bases para la zonificación edafoclimática del cacao por medio de criterios de expertos a partir de los requerimientos de clima y suelo del cultivo.

Etapa 2: Se caracterizó al macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa por medio del comportamiento de los factores climáticos y edáficos. Como resultado de la caracterización se determinaron las zonas climáticas y edáficas.

Etapa 3: Se utilizaron las bases de la zonificación definidas por los expertos y los resultados de la caracterización edafoclimática de la región, para la representación de las zonas edafoclimáticas de acuerdo a la aptitud para el cultivo, en mapa a escala 1:100 000.

Etapa 4: Se realizó la validación de los resultados en sitios seleccionados de un municipio con aplicación adecuada de la tecnología para la producción de cacao. Ello permitió validar los criterios considerados en las bases para la zonificación edafoclimática del cultivo, por categoría de zonificación utilizadas en el estudio.

3.3. Determinación de las bases para la zonificación edafoclimática del cacao

La determinación de las bases para la zonificación edafoclimática del cacao en Cuba, presenta tres limitantes fundamentales: escasa información histórica y consecutiva sobre el cacao en el país, la heterogeneidad de la información existente y los antecedentes insuficientes en este tema. Sin embargo, el elevado cúmulo de experiencias entre los productores y decisores relacionados con el cultivo, constituyó una fortaleza para la investigación, de manera que se pudo realizar una consulta a expertos y especialistas del cultivo en el país, con el objetivo de establecer las bases para la zonificación edafoclimática del cacao.

3.3.1. Determinación de las bases de la zonificación edafoclimática para el cacao por medio de criterio de expertos

Se aplicó la metodología Delphi descrita por Linstone y Turoff (1975) citado por Martínez y Rodríguez (2006), que considera metodológicamente dos etapas: selección del grupo de expertos a consultar y la elaboración, aplicación y procesamiento de los cuestionarios.

3.3.1.1. Selección de los expertos para la consulta

Para la selección de los expertos, se analizó un conjunto de especialistas que fueran capaces de ofrecer valoraciones conclusivas acerca del problema: “Condiciones edafoclimáticas para la ubicación del cacao”. En el análisis, se consideraron las experiencias de los mismos en el tema de estudio, y se tuvieron en cuenta como perfil para su inclusión las siguientes características: competencia, disposición a participar en la encuesta, capacidad de análisis y de pensamiento, trayectoria científico - técnica en el cultivo, espíritu colectivista y autocrítico.

A partir de los resultados obtenidos de dicho análisis, se escogieron siete expertos del conjunto de ellos analizados. Los mismos fueron: tres productores, tres investigadores y un profesor, algunos de ellos de reconocido prestigio a nivel internacional.

Los siete expertos fueron analizados para su selección final y ser utilizados para la consulta en la investigación. El principal criterio para la selección de los mismos, fue el nivel de competencia. Para ello se aplicó una encuesta (Anexo 1) y se determinó el coeficiente de competencia (K), calculado a partir de la fórmula:

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

k_c : Coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del problema.

k_a : Coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del experto.

Para determinar el coeficiente de conocimiento (k_c), se preguntó a cada experto su valoración sobre su nivel de conocimiento acerca de la problemática tratada a escala del

0 al 10 (Anexo 1a). La evaluación “0” indicó que el experto no tiene absolutamente ningún conocimiento de la problemática y la evaluación “10” significó que el experto tiene pleno conocimiento de la problemática tratada. Cada valor fue multiplicado por 0,1 para transformarlo a escala decimal.

Para determinar el coeficiente de argumentación o fundamentación (k_a) que tuvieron los expertos acerca de la problemática tratada, se presentó a cada uno de ellos una tabla con diferentes fuentes de argumentación (Anexo 1b), los cuales marcaron con una X su evaluación en tres categorías: alto, medio y bajo. En correspondencia con una tabla patrón (Anexo 1c) y la evaluación de cada experto, las puntuaciones se sumaron y se obtuvo el coeficiente de argumentación de cada uno de ellos.

El código de interpretación del coeficiente de competencia es:

- $0,8 < K < 1,0$ Coeficiente de competencia alto.
- $0,5 < K < 0,8$ Coeficiente de competencia medio
- $K < 0,5$ Coeficiente de competencia bajo

Se escogieron para la consulta, a los expertos cuyo coeficiente de competencia es alto.

3.3.1.2. Elaboración y aplicación de los cuestionarios

Para la elaboración de los cuestionarios se tuvo en cuenta una amplia fundamentación del tema según lo descrito por Scott (2001), para lo cual se utilizaron los fundamentos teóricos resultado de la consulta de las bibliografías nacionales e internacionales existentes (método bibliográfico). Se elaboró un primer cuestionario con cinco preguntas (Anexo 2).

Este cuestionario se inició con preguntas abiertas, a manera de enfoque preinvestigativo del problema, para que en los cuestionarios subsiguientes se pudieran concretar las preguntas e ir cerrando el entorno de las respuestas a los criterios que conforman las bases para la zonificación del cultivo. Ello permitió una secuencia lógica de elementos propuestos a consultar que permitieron concretar las preguntas en los siguientes cuestionarios, a la par

del procesamiento estadístico de las mismas. Por ello, el número de cuestionarios fue desde uno, hasta tantos cuestionarios como sean necesarios llegar a un consenso final entre los expertos.

Los criterios para definir los elementos, las variables o las preguntas a consultar en los próximos cuestionarios, fueron: el nivel de relevancia de cada pregunta respecto al problema tratado y nivel de concordancia entre los expertos en cada pregunta.

Para determinar el nivel de relevancia (Anexo 3), los expertos valoraron cada pregunta según su correspondencia con el problema tratado, para lo cual tuvieron que marcar con una X su valoración según las siguientes categorías: muy relevante (MR), bastante relevante (BR), relevante (R), poco relevante (PR) y no relevante (NR). Por medio de una hoja de cálculo programada en Excel bajo Windows, la información obtenida fue totalizada y determinada las frecuencias acumuladas, las frecuencias relativas, la imagen de los valores de las frecuencias relativas por la inversa de la curva normal y los puntos de cortes (promedio relativo). Estos últimos fueron comparados con el valor promedio que le otorgaron los expertos consultados a cada pregunta, lo cual permitió categorizar las mismas según su nivel de relevancia.

Para determinar el nivel de concordancia entre los expertos, cada pregunta fue evaluada en una escala de puntuación que osciló entre 0 – 10 puntos de acuerdo a la relación con el problema tratado (Anexo 4), donde cero significa baja relación y diez alta relación de la pregunta con el problema tratado. La información originada fue procesada estadísticamente donde se determinaron los parámetros: media aritmética de la evaluación de los expertos a cada pregunta, varianza y desviación típica de las evaluaciones de cada pregunta.

A partir de estos estadígrafos se determinó el coeficiente de variación (CV) que caracterizó el grado de concordancia de los expertos para cada pregunta, donde a mayor coeficiente de variación, menor será el grado de concordancia de los expertos con relación a una

determinada pregunta. Como criterio para definir alta variabilidad o desacuerdo entre los expertos, se tuvo en cuenta un coeficiente de variación por encima del 40 %; según lo informado por Osan y Ramírez (2006) y Michel (2007), los que indicaron que un coeficiente de variación por encima de éste, es suficiente para obtener respuestas con un alto grado de heterogeneidad.

Las bases de la zonificación edafoclimática para el cacao, fue definida a partir de los resultados del último cuestionario aplicado y donde las variables propuestas a consulta de los expertos, tuvieron alta relevancia respecto al problema tratado y mayor consenso entre los especialistas consultados con la mayor independencia entre los mismos, coincidiendo con Astigarraga (2009), el cual informó que las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, con el objetivo de tratar de conseguir consenso, con la máxima autonomía por parte de los participantes.

Por la importancia que tiene la distribución de las precipitaciones para el cultivo en el análisis de las bases de la zonificación obtenida, se verificó este comportamiento en todos los pluviómetros del macizo montañoso, a partir del registro de las lluvias caídas mensualmente en cada uno de ellos.

3.4. Caracterización edafoclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

3.4.1. Caracterización climática

La escala temporal considerada para el registro de los datos, fue la mensual, y todo su procesamiento se realizó según normas y procedimientos del Manual de Prácticas Climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1991) y las bases de datos creadas se validó y revisó a través del Sistema Automatizado de Revisión de las Observaciones Meteorológicas (SAROM); sistema oficial del Instituto de Meteorología para la toma y validación de la calidad de los datos meteorológicos de cada variable.

3.4.1.1. Precipitaciones

Se utilizó una serie de datos de 30 años (1976 – 2006) originados de las estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología en los territorios estudiados y de 253 pluviómetros de la red del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, con una densidad aproximada de un pluviómetro por cada 31 km², la cual es considerada muy buena según la Guía de Prácticas Hidrometeorológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2007). Se utilizaron los promedios mensuales y anuales de precipitaciones, además de las ocurridas durante el periodo poco lluvioso (noviembre – abril) y en período lluvioso (mayo – octubre). A partir de la información registrada, se creó una base de datos pluviométrica, y se elaboraron los mapas de isolíneas con la precipitación media anual, del periodo poco lluvioso y lluvioso de todo el tiempo estudiado. Ello se realizó, teniendo en cuenta el gradiente de variación con la altura, que en éste caso tuvo un comportamiento parabólico ($Pr = 2,047 h - 0,001339 h^2$), según los estudios básicos de Soto *et al.* (2001 a). En correspondencia con las exigencias pluviométricas del cultivo, se elaboró además el mapa con la distribución espacial de las precipitaciones medias anuales.

3.4.1.2. Temperatura

Se utilizó una serie de 20 años (1987-2006) de temperaturas medias, mínimas y máximas del aire (periodo considerado confiable y homogéneo), originadas de las cinco estaciones meteorológicas existentes en el macizo montañoso (Guaro y Pinares de Mayarí en Holguín y Baracoa, Yateras y el Valle de Caujerí en Guantánamo).

Debido a la cantidad escasa de Estaciones Meteorológicas en el macizo montañoso objeto de estudio, se realizaron correlaciones de las existentes con las ubicadas en las proximidades del mismo. A partir del mapa digital de elevación y las características fisiográficas del macizo objeto de estudio, las correlaciones se realizaron en correspondencia con los gradientes de altura con la temperatura, planteados por Soto *et al.* (2001 a).

Se creó una base de datos con los valores mensuales de las temperaturas máximas, mínimas y medias anual, correspondientes a las observaciones de las estaciones meteorológicas, y se calcularon los valores anuales. A partir de la información obtenida, se confeccionaron los mapas de temperatura máximas, mínimas y medias anuales del aire. Según las exigencias térmicas del cultivo, se elaboró además el mapa con la distribución espacial de la temperatura media anual.

3.4.1.3. Zonificación climática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

A partir de los mapas resultantes de precipitaciones y temperatura, además de las exigencias del cultivo según las bases para la zonificación edafoclimática, se determinaron las zonas climáticas para el cacao a escala 1: 100 000, considerando cuatro categorías de aptitud: zonas climáticas óptima, medianamente óptima, aceptable y no apta.

3.4.2. Caracterización edáfica

La caracterización edáfica se ejecutó considerando los antecedentes de los trabajos realizados por Hernández *et al.* (2004) en esta misma región, cuyos resultados finales se representaron en un mapa de suelos a escala 1: 100 000. La información se originó de la descripción de más de 750 perfiles de suelos con planillas completas para cada perfil (Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, 1990).

En este contexto, se realizó un análisis de interpretación edáfica para determinar los agrupamientos de suelos, con sus tipos y subtipos más adecuados para el desarrollo del cultivo, según el conjunto de propiedades físicas, hidrofísicas y químicas que suplen las exigencias del mismo.

Dentro de la caracterización edafológica se realizó la clasificación de los agrupamientos de suelos, para lo cual fue utilizada la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba según Hernández *et al.* (1999) y su correspondencia con la *World Reference Base* (IUSS, Working Group WRB, 2008).

A partir de los resultados descritos por Garea (2003) y la metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos según Hernández *et al.* (1995), se elaboraron los mapas de agrupamientos y profundidad efectiva de los suelos en función de los requerimientos del cultivo, los cuales facilitaron obtener el mapa de las zonas edáficas para la región estudiada a escala 1: 100 000 considerando cuatro categorías de aptitud edáfica: óptima, medianamente óptima, aceptable y no apta.

3.5. Representación de las zonas edafoclimáticas para el cultivo del cacao

A partir de los resultados obtenidos y datos asociadas a las zonas climáticas y edáficas, las bases definidas para la zonificación del cultivo, y apoyados en un Sistema de Información Geográfica con el software ArcView ver. 3,2, se determinaron las zonas edafoclimáticas que fueron representadas en un mapa a escala 1: 100 000. Se consideraron cuatro categorías o clases de aptitud edafoclimática: zonas óptimas, medianamente óptimas, aceptables y no aptas para el desarrollo y crecimiento del cultivo del cacao.

Se realizó un análisis por categoría de zonificación y se cuantificaron las superficies potenciales para el desarrollo del cultivo, así como la distribución de las categorías por municipio y provincias pertenecientes a la región estudiada.

3.6. Validación de los resultados de la zonificación edafoclimática para el cacao

Con el objetivo de trasladar el resultado a una escala más detallada y con mayor precisión, además de verificar la validez de los resultados obtenidos y en función de lograr un proceso confiable para la aplicación de los resultados, se realizó un análisis en diferentes sitios por cada categoría de zonificación en el macizo montañoso objeto de estudio.

3.6.1. Selección de los sitios para la validación

Se seleccionó un municipio con antecedentes en el desarrollo del cultivo, y dentro de éste, se determinaron los sitios para realizar la validación de los resultados obtenidos en cada categoría de zonificación. Los criterios de selección del municipio y los sitios objeto de

validación, fueron el nivel elevado de aplicación de las técnicas para la producción de cacao, y la existencia de informaciones productivas y edafoclimáticas confiables. Estos criterios responden, a que no es posible validar los resultados de la zonificación, sin una adecuada aplicación de la tecnología e informaciones que se puedan comparar con los criterios definidos en las bases para la zonificación edafoclimática del cultivo.

Para analizar el factor tecnológico y seleccionar el municipio para la validación, se realizó una evaluación sobre el nivel de aplicación de la tecnología por parte de los productores. Para ello se aplicó una encuesta de prospección tecnológica (Anexo 5) como método de investigación sociológica, a un total de 1 546 productores directamente relacionados con la actividad cacaotera (muestra poblacional), que representan un 73,2 % del total de productores. La muestra seleccionada estuvo representada por las diferentes formas de producción y los nueve municipios que desarrollan el cultivo en la región de estudio, en proporciones según la cantidad de productores existentes.

La encuesta estuvo formada por preguntas abiertas y cerradas, que permitieron obtener una información general sobre el comportamiento del factor tecnológico en cada uno de los agroecosistemas muestreados.

Para el procesamiento de las encuestas se aplicó el análisis multivariado BIPLLOT, el cual permitió una superposición de las variables e individuos, en la misma representación gráfica (Varela, 2002). A partir de los resultados estadísticos y la selección del municipio para la validación, se realizó una caracterización productiva del mismo, para lo cual se registró el área cosechada (ha), la producción (t) y los rendimientos ($t \cdot ha^{-1}$) en 10 años (2002-2011).

En el municipio seleccionado, se escogieron tres sitios (uno por cada categoría de zonificación óptima, medianamente óptima y aceptable) para realizar el proceso de validación, considerando los criterios del rendimiento a alcanzar por cada categoría y su

comparación con el historial productivo de las plantaciones de los sitios escogidos. Se realizó una caracterización edafoclimática y se comparó con los criterios considerados en las bases de la zonificación.

La información climática en los sitios, fue registrada en los pluviómetros y estaciones meteorológicas más cercanas a los mismos. Desde el punto de vista edáfico, se realizó un diagnóstico edafológico a partir de la caracterización de sus perfiles y los agrupamientos de suelos fueron clasificados según la nueva versión de clasificación genética de los suelos (Hernández *et al.*, 1999).

Se registró la superficie plantada (ha) y la producción anual (t) de las plantaciones de los sitios seleccionados por 10 años consecutivos, y se determinó el rendimiento promedio ($t \cdot ha^{-1}$) del período.

3.7. Análisis económico

Se realizó una valoración económica a partir de la comparación entre el rendimiento de cacao obtenido en plantaciones desarrolladas bajo las condiciones edafoclimáticas en cada categoría de zonificación de los sitios seleccionados para la validación, y los rendimientos actuales de las plantaciones en los agroecosistemas del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. En este contexto, se utilizó la metodología propuesta por Trujillo *et al.* (2007), donde se estimaron los beneficios económicos originados a partir de las diferencias entre las ganancias obtenidas en las plantaciones por cada sitio según las categorías de zonificación, y las ganancias que se obtienen bajo las condiciones actuales de producción.

Para estimar y calcular las ganancias en cada una de las condiciones edafoclimáticas, se determinó el valor de la producción a partir de los precios de comercialización nacional del cacao considerado de primera calidad (Tabla 1). Se consideraron los costos que se incurren para la producción de una hectárea de cacao y con una edad de cinco años en fase de producción. Se calcularon los siguientes indicadores:

- Valor de la producción ($\$.ha^{-1}$): rendimiento del cultivo multiplicado por el precio de venta de una tonelada de cacao oro acopiado.
- Costo total de producción por hectárea ($\$.ha^{-1}$): sumatoria de los gastos incurridos por la aplicación de la tecnología aprobada para el cultivo para una plantación de cinco años.
- Ganancia ($\$.ha^{-1}$): diferencia entre el valor de la producción y los costos de producción.
- Beneficio económico ($\$.ha^{-1}$): diferencia entre las ganancias obtenida en las plantaciones analizadas por categorías de zonificación y la ganancia en plantaciones actuales en producción.
- Relación B/C: cociente obtenido de dividir el beneficio económico entre el costo de producción. Valores de la relación B/C mayores a uno indican el aporte de ganancia, y un valor de dos la obtención de un beneficio del 100 %. Valores de tres o superiores corresponden a ganancias muy notables.

Tabla 1. Algunos indicadores para el análisis económico

Indicadores	UM	Valor	Referencia
Precio de cacao	$\$.t^{-1}$ de cacao oro	12 800,00	Res. 14/2010 (MFP, 2010)
Costo de producción	$\$.ha^{-1}$	1 918,30	MINAG (2012)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Bases para la zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

Las bases de la zonificación, constituyen los criterios a tener en cuenta para el manejo de la información, en función de identificar las zonas edafoclimáticas por categorías para el cultivo analizado.

Al realizar un análisis de los actores existentes en el país con potencialidades para ser escogidos como expertos, se seleccionaron siete especialistas por las experiencias acumuladas para el estudio. En la tabla 2 se exponen los resultados del nivel de competencia (K) de cada experto en función del problema planteado.

Tabla 2. Nivel de competencia de los expertos seleccionados.

Expertos	kc (kc=Escalax0.1)	ka (suma valores tabulados)	K ($K = \frac{1}{2}(kc + ka)$)	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

Según los resultados del nivel de competencia (K), seis de los especialistas obtuvieron un nivel de competencia alto. Sólo el experto cuatro obtuvo un nivel de competencia medio, debido al nivel de argumentación y fundamentación sobre los factores que determinan el rendimiento en el cultivo.

Los resultados del coeficiente de competencia promedio fue clasificado de alto (0,89). Según la metodología, cuando algún experto tiene competencia media y la suma total de los coeficientes es de categoría alta, es posible analizar la utilización de ese experto para la consulta. Por tanto, para la investigación se utilizaron a todos los expertos seleccionados incluyendo al experto cuatro.

Sobre la cantidad de especialistas o expertos óptimos, Martínez y Rodríguez (2006) informaron que para estos estudios no se tiene un cálculo exacto; sin embargo, parece necesario un mínimo de siete expertos y no más de 30, pues en la medida que aumenta el número de ellos, se incrementa la probabilidad de un mayor desacuerdo entre los mismos. Por otra parte, Barraza (2007) informó que por lo general el número mínimo de expertos a incluir en la consulta, es cinco y el máximo es diez, considerando en estricto sentido lo que es un experto. Estudios desarrollados por Rodríguez *et al.* (2010) en la identificación de prioridades de ciencia e innovación tecnológica en la salud, utilizaron nueve expertos con positivos resultados en las consultas.

Según los resultados del procesamiento del primer cuestionario (Tabla 3), los expertos otorgaron categoría muy relevante a los factores edafoclimáticos con similar valor promedio, y categoría relevante al factor fisiográfico.

Tabla 3. Resultados del procesamiento del primer cuestionario.

Preguntas	Nivel de relevancia	Nivel de concordancia	
	Evaluación	Media	CV (%)
F. Climático	MR	7,28	40,10
F. Edáfico	MR	7,14	41,50
F. Fisiográfico	R	6,67	40,00
F. Genético	NR	2,71	17,90
F. Socio-económico.	NR	2,14	17,60

Leyenda: CV (%): Coeficiente de variación

Lo anterior significó, una relación directa de estos factores con las zonas para el desarrollo del cultivo. Al respecto, la mayoría de los autores de trabajos sobre el tema, han utilizado los criterios edafoclimáticos para los estudios de la zonificación agroecológica y edafoclimática de los cultivos, entre ellos se destaca la investigación realizada en los sistemas agroforestales en México por Pérez y Geissert (2006) y Rivera *et al.* (2012) en un estudio de la zonificación agroecológica en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el Estado de Tabasco, México. Sin embargo, no todas las variables edafoclimáticas tienen el mismo peso en el momento de definir las zonas adecuadas para ubicar un cultivo, debido a la relación que existe entre ellas mismas, y entre estas y las tecnologías aplicadas.

El factor fisiográfico tuvo una relevancia menor que los edafoclimáticos. Ello se debe a que por lo general la influencia de las variables fisiográficas en los cultivos, se explica por el comportamiento de las variables climáticas, y sus efectos pueden ser minimizados con una adecuada tecnología de cultivo.

Los factores genéticos y socioeconómicos fueron valorados como no relevantes. Esto indicó que los mismos no se vinculan directamente con la problemática de la ubicación del cultivo.

Con respecto al factor genético, ello se debe a que en el cacao las características genéticas del material, están más relacionadas con la definición de las prácticas de cultivo, que con el establecimiento y ubicación de las plantaciones. Los hábitos de crecimiento específicos de las diferentes acepciones de cacao, demandan del uso de una u otra práctica de manejo de la plantación para obtener su potencial productivo según el tipo genético que se trate, aspecto que coincide con lo informado por Daymond y Hadley (2004).

En este contexto, en el mundo existen tres tipos de cacao: criollos, forasteros y trinitarios. Toda la base genética de las acepciones existentes en Cuba, es a partir de los cacaos

trinitarios, donde prevalece la vía de propagación vegetativa, por tanto, las exigencias edafoclimáticas son similares para una u otra acepción.

Lo anterior fue corroborado por Menéndez (2013), quien además afirmó que los materiales genéticos de cacao introducidos en Cuba, fueron prospectados en las mismas condiciones climáticas, fundamentalmente de Costa Rica, Panamá y México; de manera que ha existido un comportamiento similar de los mismos en cuanto a condiciones edafoclimáticas se refiere.

Con respecto al factor socioeconómico, e independientemente del criterio generalizado de los expertos sobre la no relevancia del mismo para definir la ubicación del cacao, los especialistas concordaron que este factor conviene ser considerado en la toma de decisiones para el establecimiento del cultivo en sitios específicos, a partir de los estudios de la zonificación agroecológica, que incorpora los aspectos socioeconómicos, además de las condiciones edafoclimáticas.

Si bien las condiciones edafoclimáticas garantizan el crecimiento y desarrollo del cultivo, para su mantenimiento serán necesarias también las condiciones económicas y sociales tales como: cantidad, calidad y motivación de la fuerza de trabajo, infraestructura, política estatal, disponibilidad del presupuesto, red de viales, entre otras. En la actualidad no se dispone de una información socioeconómica lo suficientemente completa y digitalizada en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, como para realizar la zonificación agroecológica, lo cual indica la necesidad de ejecutar trabajos futuros encaminados al cumplimiento de estos objetivos.

Al analizar el nivel de concordancia entre los expertos en las diferentes preguntas, se observó que las respuestas de los factores climáticos, edáficos y fisiográficos, tuvieron baja concordancia y escaso consenso entre ellos, debido a un coeficiente de variación alto, lo cual indicó la necesidad de considerar dichos factores en próximos cuestionarios. Sin

embargo, en el análisis de los factores genéticos y socioeconómicos, los resultados fueron diferentes, pues los expertos mostraron mayor seguridad en sus respuestas, dado por una alta concordancia, que junto a un bajo nivel de relevancia, confirmaron que los mismos no determinan la ubicación del cultivo.

Con respecto al consenso entre los expertos, internacionalmente se ha reconocido el método de consulta a expertos, como un procedimiento que logra el acuerdo general donde no existió previamente algún consenso (Keeney y McKenna, 2006).

A partir de los resultados del primer cuestionario, los expertos coincidieron en la necesidad de analizar los factores por sus diferentes variables, lo que motivó 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 el mismo se desglosaron los factores en distintas variables, para un total de 13 preguntas sometidas a la consulta de los especialistas (Anexo 6).

Luego de ser procesadas las respuestas (Tabla 4), se determinó que las variables climáticas precipitaciones y temperaturas obtuvieron categorías muy relevante y bastante relevante, respectivamente. Resultados similares se obtuvieron para los criterios edáficos agrupamiento con sus tipos y subtipos de suelos, y la profundidad efectiva del mismo.

Los agrupamientos de suelos se consideraron como un criterio relevante para definir las zonas edafoclimáticas, ya que éste reúne los tipos de suelos que tienen en común el proceso principal de formación y su grado de evolución en relación con la interacción de los factores de formación. En este contexto, los mismos determinan la naturaleza del conjunto de propiedades edáficas que se pudieran comparar con las exigencias del cultivo. Por lo tanto, los tipos y subtipos de suelos quedan incluidos dentro de los agrupamientos para el análisis de los diferentes criterios en función de la definición de las bases para la zonificación.

El nivel de concordancia en las respuestas de los expertos, fue bajo para las variables climáticas y edáficas de alta relevancia, con un coeficiente de variación superior al 41 %, lo que motivó a profundizar en las mismas en próximos cuestionarios.

Tabla 4. Resultados del procesamiento del segundo cuestionario.

Preguntas	Nivel de relevancia	Nivel de concordancia	
	Evaluación	Media	CV (%)
Precipitaciones	MR	7,14	41,50
Temperatura	BR	7,42	41,02
H. relativa	NR	1,85	20,30
Velocidad de los vientos	NR	6,00	19,24
Rad. solar	NR	5,85	6,40
Agrupamientos, tipos y subtipos de suelos que suplen las exigencias del cultivo	MR	7,42	41,70
Profundidad efectiva del suelo	BR	8,14	40,90
Propiedades físicas	PR	6,42	12,20
Propiedades químicas	NR	3,42	15,50
Contenido M.O	PR	7,28	6,60
Altura	NR	2,14	17,6
Latitud	NR	3,00	19,20
Relieve	NR	3,42	15,5

Leyenda: CV (%): Coeficiente de variación

Por otra parte, en el resto de las preguntas la variabilidad en las respuestas fue baja, por lo que hubo mayor concordancia y consenso entre los especialistas. En este sentido, al tener estas preguntas categorías de no relevante con alto consenso en las respuestas, se consideró que las variables climáticas: humedad relativa, viento y radiación solar; las variables edáficas: propiedades físicas y químicas, así como el contenido de materia orgánica, y las

variables fisiográficas: altura, latitud y relieve; no deben ser objetos de análisis en próximos cuestionarios para la definición de la ubicación del cacao.

En correspondencia con los resultados descritos anteriormente, los especialistas valoraron los factores discriminantes de estas condiciones, al considerar que las variables no relevantes pueden ser modificadas por el hombre a través de la tecnología de cultivo, o dependientes de otras variables con mayor relevancia. Por el contrario, las variables relevantes, no pueden ser modificadas fácilmente por el hombre o que al modificarlas implican notables gastos o tiempo en su corrección.

Desde el punto de vista climático, el comportamiento de la humedad relativa está definido por las condiciones de temperatura y precipitaciones. Por lo general, las altas temperaturas en periodo de escasas precipitaciones, traen consigo baja humedad relativa o viceversa. Por lo tanto, en el análisis de esta variable para determinar las zonas adecuadas para el crecimiento y desarrollo del cacao, resulta más idóneo valorar el comportamiento de las precipitaciones y la temperatura, porque las mismas discriminan la humedad relativa.

Similar análisis se realizó para la velocidad de los vientos. La información del efecto de esta variable en la producción y en 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 (Macedo *et al.*, 2009), además de provocar la caída de un gran número de flores y daños mecánicos en las plantaciones sin protección, cuando la velocidad sobrepasa los 2 m s^{-1} . Según los expertos, esta variable puede ser modificada por la tecnología de sombra empleada en una plantación de cacao y la implementación de las cortinas rompevientos para la protección de las plantaciones.

La radiación solar que incide en una plantación de cacao está relacionada con las temperaturas, lo cual implica un manejo del agroecosistema en función de obtener mayor efectividad de la misma (Jaimez *et al.*, 2008). Por tanto, el empleo de una adecuada

tecnología de sombra y apropiada poda de formación en las plantaciones, discrimina esta variable, además de considerar el comportamiento de la temperatura.

Desde el punto de vista edáfico, las propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica, son variables dependientes del tipo de suelo o de la influencia tecnológica del factor antrópico en caso de que pueda ser modificada, como algunas propiedades químicas, que incluyen el contenido de materia orgánica; que pueden ser transformadas por la adición de fertilizantes o fuentes orgánicas. Por ello, los expertos afirmaron que al considerar los agrupamientos de suelos con sus tipos y subtipos, se consideran también el conjunto de propiedades que poseen los mismos en correspondencia con su naturaleza y que están relacionadas con las exigencias del cultivo.

Desde el punto de vista fisiográfico, la altitud junto con la latitud determina la temperatura del aire. Por lo general, el cacao crece en altitudes relativamente bajas (hasta 700 msnm) y según el gradiente de la altura respecto a la temperatura, es posible la definición de zonas adecuadas para el cultivo tomando como referencia el comportamiento de la temperatura.

El relieve está relacionado con el peligro de erosión de los suelos y puede influir en la profundidad efectiva de los mismos. Por tanto, los expertos consideraron que esta variable no es determinante para seleccionar las zonas adecuadas para el cultivo, si se tiene en cuenta la profundidad efectiva.

Teniendo en cuenta las valoraciones realizadas en la segunda ronda de preguntas, se decidió aplicar un tercer cuestionario (Anexo 7), con preguntas que contengan rangos de valores, para lograr una mejor caracterización de las variables que resultaron más relevantes y con bajo consenso, además de obtener una mayor cercanía a la problemática tratada. Los resultados del tercer cuestionario se presentan en la tabla 5.

Se puede apreciar que de los criterios propuestos, sólo la amplitud de las temperaturas diarias, resultó con categoría no relevante y con adecuado consenso entre los expertos; lo

cual significó que esta variable no tuvo relación directa con la determinación de las zonas adecuadas para el establecimiento del cultivo. Ello se debe a la mayor relevancia que otorgan a las temperaturas medias, como variable que discrimina la amplitud térmica, para definir la ubicación del cultivo. El resto de las variables fueron valoradas de relevantes, muy relevantes y bastante relevantes.

Los criterios debatidos por los expertos acerca de la categoría relevante de la distribución de las precipitaciones, fueron significativos, pues se consideró que si bien la cantidad, intensidad y duración de las precipitaciones son importantes, también la distribución anual para el cacao, es responsable de los diferentes patrones de cosecha en una u otra región del mundo. Se consideró que esta cualidad, unida a la cantidad de las precipitaciones, son las más importantes a tener en cuenta en las zonas para el desarrollo del cultivo.

Tabla 5. Resultados del procesamiento del tercer cuestionario.

Preguntas	Nivel de relevancia	Nivel de concordancia	
	Evaluación	Media	CV (%)
Precipitaciones totales Anuales: 1 200 mm – 2 200 mm	MR	7,71	43,40
Distribución de las precipitaciones: no más de tres meses consecutivos con menos de 100 mm	R	8,28	11,47
Temperatura media anual: 21 °C – 30 °C	BR	8,14	42,70
Amplitud de temp. extremas diaria: ≤ 9 °C	NR	2,14	17,63
Agrupamientos, tipos y subtipos de suelos que suplen las exigencias física y químicas del cultivo	MR	8,14	40,90
Profundidad efectiva del suelo más de 60 cm	R	7,57	44,36

Leyenda: CV (%): Coeficiente de variación

Según Cruz *et al.* (2005), la cantidad y distribución de las precipitaciones, son características a tener en cuenta en la agricultura. La cantidad, se refiere al valor absoluto del agua de lluvia registrada en un tiempo dado. Esta característica es importante para conocer el grado de satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos. Sin embargo, la

distribución espacial y temporal de las precipitaciones se refiere al régimen de lluvia que transcurre en un año o dentro del ciclo del cultivo. En la agricultura esta característica es importante por su comportamiento en función de las fenofases del cultivo y durante el año. Para el caso particular del cacao, no se debe establecer el cultivo en lugares con una estación poco lluviosa y donde la distribución de las precipitaciones responde a más de 4-5 meses consecutivos con menos de 100 mm. Por tanto, expresaron que la distribución de las precipitaciones debe ser adecuada, y que se corresponda con una ocurrencia no más de 3 meses consecutivos con menos de 100 mm, aspecto que coincide con lo informado por diferentes autores, entre ellos, Gonzáles (2007).

Con respecto a la profundidad efectiva de los suelos, la clasificación de relevante se relacionó con la aptitud necesaria que deben tener los suelos capaces de garantizar un adecuado desarrollo del sistema radical del cacao. No obstante, quedaron reconocidas las limitaciones que existen en los agroecosistemas montañosos con esta cualidad; sin embargo, expresan que en suelos donde las profundidades no sobrepasan los 60 cm, sería una limitante para alcanzar altos rendimientos.

En la actualidad se pueden encontrar plantaciones de cacao desarrolladas en suelos con menos de 60 cm de profundidad efectiva; sin embargo, no logran adecuadas producciones. El desarrollo del cultivo en suelos con menor profundidad efectiva de la requerida, se debe a que la planta de cacao por naturaleza es un cultivo protector de los suelos, ya que deposita en la superficie del mismo su propia hojarasca en descomposición, y con el pasar del tiempo, crea un horizonte húmico que aumenta la capacidad para el desarrollo del sistema radical. Por ello, es común encontrar en la descripción morfológica de los perfiles de suelos dentro de una plantación de cacao, un horizonte A dividido en:

- A_{oo} (hojarasca y restos vegetales del cacao, plantas sombreadoras y malas hierbas)
- A_o (material vegetal en descomposición).

- A₁ (material vegetal en descomposición, descompuesto y suelo)
- A₂ (suelo con mezcla de material vegetal descompuesto).

En el análisis de las condiciones edáficas necesarias para la ubicación del cultivo, es necesario considerar la profundidad efectiva de los suelos, unido al conjunto de propiedades físicas, hidrofísicas y químicas de los mismos que suplen las exigencias del cultivo; por lo tanto, en el análisis de las condiciones edafológicas adecuadas para el establecimiento del cultivo, se desechan aquellos agrupamientos donde estas propiedades son más limitantes para el crecimiento y desarrollo del mismo.

El nivel de concordancia entre los especialistas resultó con alta variabilidad en sus respuestas, para las preguntas con categorías relevantes, muy relevantes y bastante relevantes. Por tanto, a pesar de que estas variables guardan relación directa con la definición de las zonas para establecer el cultivo según su nivel de relevancia, hasta el momento del análisis realizado, no respondieron al problema objeto de estudio.

En consecuencia con las respuestas y valoraciones realizadas por los especialistas en la tercera ronda de preguntas, se consideró necesario aplicar un cuarto cuestionario con 15 preguntas (Anexo 8), con rangos de valores propuestos en tres categorías (óptimas, medianamente óptimas, aceptables), además de tener en cuenta una cuarta categoría (no apta), la cual consideraron sea la superficie con características no adecuadas para el cultivo. En estas categorías, se propusieron además los rendimientos que se estiman sobre la base de las experiencias prácticas, observaciones, datos de áreas experimentales y datos de producción en plantaciones de cacao establecidas en lugares adecuados.

Según los resultados del procesamiento del cuarto cuestionario (Tabla 6), todas las variables propuestas resultaron ser de categorías muy relevantes y bastante relevantes. Lo anterior permitió reconocer que todas las preguntas consultadas, tuvieron relación directa

con las condiciones edafoclimáticas para establecer el cultivo según los rendimientos estimados por categoría.

El nivel de concordancia interpretado a partir del coeficiente de variación de todas las preguntas, indicó baja variabilidad de las respuestas, alta validez de las valoraciones realizadas y un consenso general de que los criterios propuestos a consulta, determinaron la ubicación del cacao y por consiguiente constituyen las bases para la zonificación edafoclimática del cultivo.

Tabla 6. Resultados del procesamiento del cuarto cuestionario.

Preguntas	Nivel de relevancia	Nivel de concordancia	
	Evaluación	Media	CV (%)
Las condiciones que determinan la ubicación del cacao para las zonas óptimas son:			
Precipitaciones totales anuales: 1 800 mm - 2 200 mm	MR	8,71	5,5
Temperatura media anual: 22 – 26 °C	BR	9,57	5,5
Agrupamientos, tipos y subtipos de suelos que suplen las exigencias del cultivo	MR	9,85	3,8
Profundidad efectiva del suelo: Muy profundos	MR	8,80	7,7
Rendimiento estimado: > 2 t.ha ⁻¹	BR	8,57	9,1
Las condiciones que determinan la ubicación del cacao para las zonas medianamente óptimas son:			
Precipitaciones total es anuales: 1 500 mm - 1 800 mm	MR	9,71	7,7
Temperatura media anual: 22 – 26 °C	BR	8,71	8,6
Agrupamientos, tipos y subtipos de suelos que suplen las exigencias del cultivo	MR	9,85	3,8
Profundidad efectiva del suelo: Muy profundos y Profundos	MR	9,28	5,2
Rendimiento estimado: 1 t.ha ⁻¹ - 1,99 t.ha ⁻¹	BR	8,71	8,6
Las condiciones que determinan la ubicación del cacao para las zonas aceptables son:			
Precipitaciones totales anuales: 1 200 mm - 1 500 mm	MR	9,71	5,0
Temperatura media anual: 22 – 26 °C	MR	8,28	5,8
Agrupamientos, tipos y subtipos de suelos que suplen las exigencias del cultivo	MR	9,14	9,8
Profundidad efectiva del suelo: Muy profundos, Profundos	BR	9,00	6,4
Rendimiento estimado: 0,5 t.ha ⁻¹ – 0,99 t.ha ⁻¹	BR	9,14	7,5

Leyenda: CV (%): Coeficiente de variación

En el cuarto cuestionario sucedió el mayor consenso entre los especialistas, y con ello los criterios más definidos que determinan las zonas edafoclimáticas para el cultivo del cacao en sus distintas categorías de zonificación. Konow (2008) informó que a partir del tercer o cuarto cuestionario, es que los expertos comienzan a mantener sus criterios y a obtener un acuerdo mayor o consenso entre las respuestas; criterio corroborado por los resultados obtenidos en éste último cuestionario, que originó las bases para realizar la zonificación edafoclimática del cacao en cuatro categorías de zonificación, descrita en la tabla 7.

De todas las variables consultadas, las precipitaciones y la profundidad efectiva de los suelos fueron las de mayor influencia en el rendimiento estimado, que varía desde 0,5 t.ha⁻¹ hasta 2 t.ha⁻¹, precipitaciones desde 1 200 mm hasta 2 200 mm y profundidad efectiva del suelo desde 61 cm hasta más de 100 cm según la categoría de zonificación.

Tabla 7. Bases para la zonificación edafoclimática del cacao.

Factores	Criterios considerados	Categorías de zonificación			
		Zonas óptimas	Zonas medianamente óptimas	Zonas aceptables	Zonas no aptas
Climáticos	Precipitaciones anuales (mm)	1 800 – 2 200	1 500 - 1 800	1 200 - 1 500	< 1 200 > 2 200
	Temperatura media anual (°c)	22 – 26			< 22 > 26
Edáficos	Agrupamientos con los tipos y subtipos de suelos que suplen las exigencias del cultivo	Fersialítico Ferralítico P. Sialíticos Fluvisoles			Alíticos, Ferríticos, H. Sialíticos P. Evoluc.
	Profundidad efectiva del suelo (cm)	Muy profundos (> 100)	Muy profundos (> 100) Profundos (61 – 100)	Muy profundos (> 100) Profundos (61 – 100)	Med. prof. (41-60) Poco Prof. (21-40) Muy poco Prof. (< 20)
Rendimiento a alcanzar (t.ha ⁻¹)		> 2	1 – 1,99	0,5 – 0,99	< 0,5

Los rangos de temperatura y los tipos de suelos no varían con las condiciones aptas para el desarrollo del cultivo en una u otra categoría. Al valorar la temperatura en las regiones montañosas de Cuba, Morales (1986) no señaló limitantes para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que las medias mínimas no alcanzan periodos prolongados y con las altas temperaturas no se han reportado efectos negativos visibles.

En correspondencia con las características generales de los agrupamientos, tipos y subtipos de suelos, los expertos consideraron que los agrupamientos Fersialíticos, Ferralíticos, Pardos Sialíticos y Fluvisoles, son los que poseen propiedades físicas, hidrofísicas y químicas más compatibles con las exigencias del cultivo. En este contexto, expresaron que éstos constituyen la primera base para discriminar las zonas en función de la ubicación del cultivo, por lo tanto, este criterio es similar en todas las categorías aptas para el cacao.

En correspondencia con lo expresado anteriormente, las combinaciones entre las variables precipitaciones y profundidad efectiva de los suelos, determinaron las clases de aptitud de cada zona y de ellas éste último criterio fue el de mayor influencia en la definición de las zonas por categorías de zonificación por ser el factor más limitante.

En la categoría no apta, se definieron todas las características edafoclimáticas que no cumplieron con las exigencias del cultivo a partir del análisis realizado en cada variable.

Desde el punto de vista climático, para esta clase de aptitud, la cantidad de precipitaciones y las temperaturas, se consideraron no adecuadas para el cacao: lluvias escasas o con déficit hídrico y abundante o con exceso de humedad; con temperaturas altas y bajas según sus requerimientos.

Al respecto del déficit hídrico, estas condiciones inadecuadas de humedad se podrían suplir con el riego oportuno que logre el equilibrio de este factor limitante, pero bajo las condiciones económicas del país y fisiográficas del territorio, en los cultivos perennes;

como es el caso del cacao; es muy difícil la utilización del riego. Por lo tanto, el establecimiento del cultivo en estas condiciones no logra alcanzar adecuados rendimientos. Desde el punto de vista edáfico, se consideraron los agrupamientos de suelos que se encuentran en el macizo montañoso y que poseen los mayores factores limitantes para el desarrollo del cultivo.

La ubicación del cacao en zonas con características edafoclimáticas similares a las descritas en la categoría no apta, implica efectos negativos sobre la fisiología del cultivo, por ser condiciones estresantes y limitando su productividad.

Con respecto a la temperatura, se conoce que la misma es una de las variables físicas de mayor importancia en el ambiente y que influye en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Sam *et al.*, 2006).

Por lo general, en los cultivos cuando la temperatura del aire es superior a 30 °C - 35 °C, los estomas se cierran, al menos parcialmente; por la incapacidad de la planta de absorber y reemplazar el agua que se pierde rápidamente por la transpiración. Ocurre también por la acumulación de CO₂ provocada por la disminución de la fotosíntesis y el incremento de la respiración, ante el aumento de la temperatura (De armas *et al.*, 1988 y Aien *et al.*, 2011).

En el caso particular del cacao, la floración, el número de hojas por brote, la superficie media de las hojas y la longevidad de las mismas, disminuyen con el aumento de la temperatura. Ante estas condiciones las raíces superficiales también se afectan, limitando así su capacidad de absorción del agua y nutrientes en el suelo (Alvim, 1984), aunque la actividad de éstas también disminuye con temperaturas menores de 15 °C. Investigaciones realizadas en el cultivo del tomate por Sam *et al.* (2006), demostraron afectaciones de las altas temperaturas en los tejidos radicales.

La temperatura guarda relación además con el proceso fotorrespiratorio que se produce en las plantas C₃ y que las hace menos eficiente que las plantas C₄, debido a un mayor gasto

energético. Por el contrario, las plantas C₄ se muestran más resistentes a las temperaturas y en consecuencia, pueden realizar la fotosíntesis a temperaturas insoportables para las plantas C₃. Lo anterior es importante considerarlo para desarrollar una estrategia adecuada en función del uso eficiente de los recursos del medio ambiente, fundamentalmente el agua, la luz y la temperatura (Celsa *et al.*, 2005).

En este contexto, el cultivo del cacao es una planta C₃, el cual usa más eficientemente la luz a bajos niveles de radiación solar directa en condiciones de bajo CO₂. Estos elementos deben ser considerados para su manejo tecnológico, en función de aumentar su productividad a partir de un menor gasto de energía por fotorrespiración.

El cacao es una planta que se desarrolla a plena exposición solar y bajo el efecto de árboles sombreadores. En Cuba, se produce fundamentalmente bajo la sombra de diferentes árboles (70 % de la iluminación total), recibe además el efecto de autosombreamiento por sus hábitos de crecimiento y su morfología. Si se tiene en cuenta que en los cultivos tropicales, se debe buscar mayor efectividad en el sistema restringiendo la respiración y aumentando la fotosíntesis; la tecnología de sombreadamiento (disminución de la intensidad de la luz), contribuye con ese objetivo aumentando su productividad.

Con respecto a los excesos y déficit de humedad, se conoce la influencia negativa de estos tipos de estrés abiótico en la fisiología de las plantas. Estos efectos están estrechamente relacionados con el comportamiento de las precipitaciones, que según García *et al.* (2009), es la variable climática que mejor caracteriza a la vasta gama de ecosistemas tropicales, aun a una misma altitud sobre el nivel del mar.

El estrés hídrico por exceso de humedad en el suelo (inundación) se produce por un desplazamiento de la fase gaseosa por la fase líquida, en la zona del suelo donde se desarrolla el sistema radical. Esta condición se logra cuando el suelo se inunda por un pobre drenaje o cuando el agua de las precipitaciones o del riego es excesiva. Según Jackson *et al.* (2009)

y Ehlert *et al.* (2009), bajo estas condiciones ocurren en las plantas simultáneamente, disminución de la apertura estomática y la actividad fotosintética.

En el caso particular del cacao, Chávez *et al.* (2004), Ramos y Gómez (2004), informaron que luego de un anegamiento de los suelos en el segundo día, hay disminución en la apertura estomática; situación que si se mantiene por tiempo prolongado, ocasionará la muerte del cultivo.

Los mismos autores informaron además, que bajo estas condiciones de aniego, se observa en el cultivo una disminución de la nutrición con el consiguiente retardo en el crecimiento. Ello se debe, a que al disminuir la concentración de O_2 en el suelo, la actividad de los microorganismos anaeróbicos se incrementa, y éstos son capaces de obtener su energía metabólica de la reducción del NO_3^- a NO_2^- , o a N_2O o N_2 . Estos últimos, se pierden como gases a la atmósfera; por lo que se presenta un proceso de desnitrificación en el suelo.

Según Tadeo y Gómez (2008) y Copolovici y Niinemets (2010), la falta de oxígeno en el suelo por exceso de humedad, provoca deficiencia energética de las plantas, ya que el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (Ciclo de Krebs) y la cadena transportadora de electrones, no se encuentran operando, por lo que se presenta una disminución en la producción de ATP, además de inhibición del metabolismo de la raíz. La falta de ATP inhibe además el transporte activo de H^+ hacia la vacuola, ya que la actividad ATPasa del tonoplasto se bloquea y el citoplasma se acidifica irreversiblemente, deteniéndose el metabolismo de la raíz.

Además, los mismos autores expresaron que estas condiciones propician que los microorganismos anaerobios utilicen otros aceptores de electrones alternativos como el nitrato, SO_4^{-2} o el F^{3+} que al reducirse producen iones tóxicos para la raíz. Como consecuencia de estos cambios, se detienen la absorción y transporte de agua y sales por la raíz hacia el tallo.

En este contexto, la imposibilidad de las raíces de absorber nutrientes por la disminución de ATP y traslocarlos por la vía del xilema, hace que se presente una disminución de los nutrientes en los tejidos en desarrollo. Como consecuencia además, se presenta una defoliación prematura de las hojas más viejas, debido a la redistribución hacia las hojas jóvenes de elementos móviles a través del floema. Rodríguez *et al.* (2007) encontraron modificaciones en el comportamiento foliar de la caña de azúcar, ante un exceso de humedad en el suelo.

En resumen, la deficiencia de oxígeno en el suelo afecta directamente a la raíz y el resultado final es la paralización del crecimiento, el marchitamiento y epinastia de las hojas, que origina su senescencia y abscisión, cierre de estomas y bloqueo de la fotosíntesis y la respiración. Por ello, Cheng *et al.* (2008) indicaron que el suministro de agua, regula la distribución de los productos de la fotosíntesis.

Por otra parte, la planta de cacao es muy sensible a la falta de humedad del suelo (déficit hídrico). En zonas donde las precipitaciones no suplen las necesidades hídricas del cultivo en estaciones secas o de pocas lluvias, la floración disminuye y por consiguiente la producción de frutos. Estos efectos pueden ser a corto o a largo plazo. Tal es el caso de las afectaciones en el desarrollo de los frutos que puede observarse en pocos meses, sin embargo, la reducción de la apertura y cierre estomático; al igual que la fotosíntesis, pueden verse afectados en minutos (Dell'Amico *et al.*, 2012).

Uno de los efectos que ocasiona en el cultivo del cacao la falta de humedad en el suelo, es la reducción del crecimiento vegetativo y con ello el proceso de brotación foliar, que por lo general se favorece con las precipitaciones. Ünlü *et al.* (2011) informaron que por lo general el déficit hídrico trae consigo disminución del área foliar y la reducción de los rendimientos. Lo anterior fue corroborado por García *et al.* (2010), quienes indicaron afectaciones causadas por el déficit hídrico en la floración y el número final de frutos en la naranja [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. Además, Ramalan *et al.* (2010) informaron

disminución del rendimiento de la cebolla (*Allium cepa* L.), con el aumento del déficit de agua.

Por lo general, bajo estas condiciones, los estomas se cierran completamente, ya que las células oclusivas pierden turgencia, decrece la apertura estomática, y con ello el decrecimiento de la tasa de intercambio gaseoso (Wang *et al.*, 2008; Chaves *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010 y Camposeo *et al.*, 2011). Estas condiciones de estrés hídrico impide además, la entrada de dióxido de carbono a las hojas, lo cual imposibilita el desarrollo de la fotosíntesis (Lobato *et al.*, 2008).

La pérdida de turgencia, el marchitamiento y la disminución del alargamiento celular, son los primeros síntomas visibles del estado de estrés en las plantas, que está relacionado con el cierre de los estomas y la afectación de varios procesos metabólicos básicos del vegetal, lo que ocasiona finalmente la disminución del crecimiento vegetal y muerte de la planta (Utria *et al.*, 2005 y Hassan *et al.*, 2008).

Por tanto, la falta de humedad disminuye la conductancia estomática y la actividad fotosintética de la hoja, y con ello se afecta el consumo de asimilatos en las hojas en expansión; y como consecuencia, es menor la cantidad de fotoasimilatos que se exportan desde las hojas, por lo que se limita el tamaño y el número de las mismas, estimulando también la abscisión foliar, aspectos que coinciden con lo informado por Casson y Hetherington (2010).

A partir del reconocimiento sobre la importancia de la cantidad y distribución de las precipitaciones en las categorías definidas para la zonificación edafoclimática del cultivo, a modo de ejemplo se verificó el comportamiento de estas cualidades en diferentes pluviómetros escogidos dentro del macizo montañoso objeto de estudio (Figura 3).

Al realizar un análisis de la distribución de las precipitaciones, en el pluviómetro 716 (Figura 3 A) se registraron precipitaciones promedias anuales de 790 mm, cantidades por debajo de los requerimientos mínimos para el desarrollo del cultivo. En éste, se presentó

una distribución irregular de las precipitaciones durante todo el año, con la presencia de cuatro meses consecutivos con menos de 100 mm, fundamentalmente dentro del período poco lluvioso. Por lo tanto, las bajas precipitaciones anuales estuvieron acompañadas de una distribución inadecuada para las exigencias del cultivo.

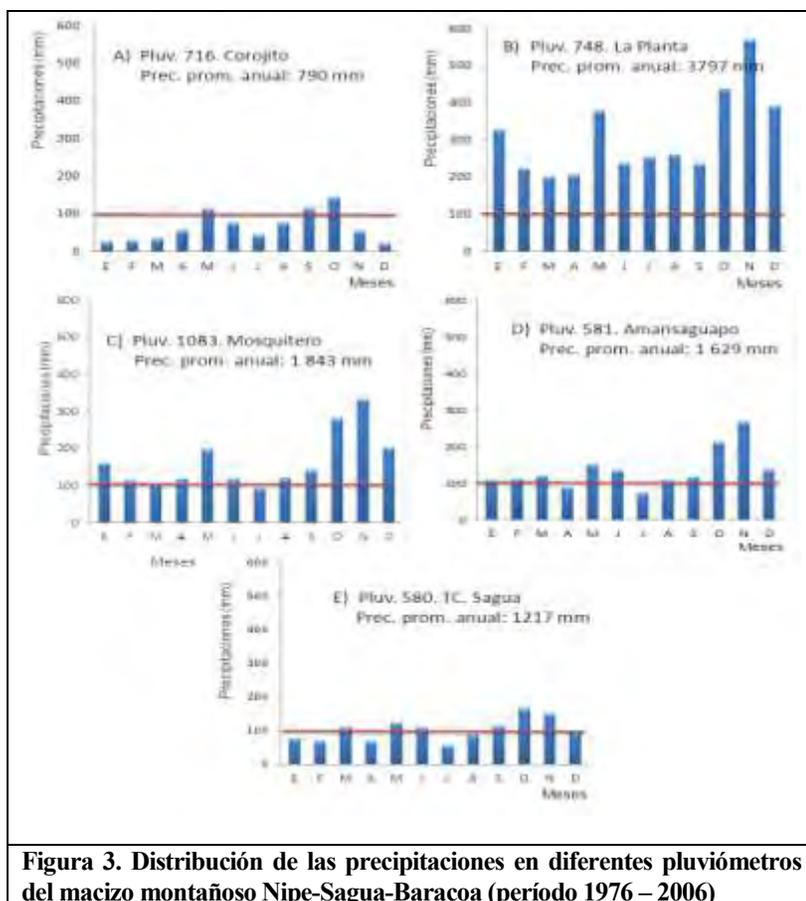


Figura 3. Distribución de las precipitaciones en diferentes pluviómetros del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa (período 1976 – 2006)

Ramos *et al.* (2000) informaron que el cacao podrá crecer en zonas con precipitaciones menores de 1 200 mm, si se aplican riegos suplementarios o si son suelos donde el nivel freático es relativamente alto, como parece ser el caso de algunos suelos aluviales del Estado de Espiritu Santo, Brasil, donde la precipitación es de 1 000 mm a 1 100 mm.

Sin embargo, en Cuba las plantaciones de cacao se desarrollan en condiciones de laderas, donde es difícil el establecimiento de algún sistema para el riego suplementario.

Un comportamiento contrario se registró en el pluviómetro 748, con precipitaciones promedios anuales mayores de 3 700 mm y por encima de lo planteado en las bases para la zonificación del cultivo (Figura 3 B). La distribución de las precipitaciones durante todo el año, permitió el registro de valores entre 200 mm y 550 mm. Bajo estas condiciones de abundantes precipitaciones, suelen ocurrir inundaciones en los suelos de topografía llana,

sobre todo en los valles intramontanos, además de favorecer la erosión hídrica en relieves ondulados y crear el ambiente adecuado para la aparición de enfermedades.

En este contexto, también el cultivo no dispone del período de seca relativa que necesita, para alcanzar algunas fases fenológicas como la floración. Enríquez (2001) informó, que cuando las precipitaciones exceden los 2 500 mm - 3 000 mm, el rendimiento del cultivo disminuye por anegamiento de los suelos y/o por la alta incidencia de enfermedades fungosas.

De otra manera ocurre en superficies con registros de precipitaciones adecuados para el cultivo y cantidades de precipitaciones relacionadas con las descritas en las bases para la zonificación edafoclimática del mismo, como ocurrió en los pluviómetros 1 083, 581 y 580 (Figuras 3 C, D y E). La distribución de las mismas en estos pluviómetros, suple los requerimientos del cultivo, con sólo uno y dos meses de precipitaciones con menos de 100 mm, no consecutivos.

Desde el punto de vista de la distribución temporal de las precipitaciones, y bajo las mejores condiciones de suelos, varios autores, entre ellos, Gómez y Azócar (2002) informaron que estas deben estar bien distribuidas a lo largo del año, con una cantidad mensual igual a 100 mm, debido a que la cantidad de agua que pierde un cacaotal por efectos de evapotranspiración, se encuentra aproximadamente entre 100 mm.mes^{-1} y 125 mm.mes^{-1} . De esta manera la producción será más estable durante todo el año.

En resumen, para lograr un adecuado crecimiento y desarrollo del cacao, es imprescindible tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas de la región de que se trate, debido a que cada especie vegetal tiene exigencias edafoclimáticas específicas y su potencial de rendimiento unitario dependerán en gran parte de la satisfacción de esos requerimientos.

Como se demostró, la aplicación del método Delphi constituyó una herramienta apropiada para la determinación de los criterios que definieron la ubicación del cacao y que formaron las bases para la zonificación edafoclimática del cultivo. Dicho método ha sido

ampliamente utilizado en el sector educacional y en la salud, como los trabajos realizados por García (2007) y Torres (2008). Sin embargo, en los últimos años ha cobrado auge en estudios relacionados con las ciencias agrícolas, como los realizados por Franco y Rodríguez (2006) y Pérez (2011).

Estudios recientes para la determinación de las bases para la zonificación utilizando otros métodos, fueron realizados por Merma y Julca (2012). El estudio abarcó tres etapas: delimitación de la unidad geoeconómica, la descripción del medio y la identificación de las zonas homogéneas de producción.

Los factores fisiográficos, genéticos y socioeconómicos no definieron la ubicación del cultivo, sin embargo, los factores edafoclimáticos fueron los de mayor influencia para definir el establecimiento del cacao, y por ende determinaron las bases de la zonificación edafoclimática. Dentro de estos factores, las variables climáticas precipitaciones y temperatura, así como los criterios edáficos agrupamientos, tipos y profundidad efectiva del suelo, fueron las de mayor impacto y las más determinantes para el cumplimiento de ese objetivo.

4.2. Caracterización edafoclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa en función de la zonificación para el cacao

4.2.1. Caracterización climática

En Cuba aún no se ha realizado una caracterización climática atendiendo a los requerimientos del cacao, en función de evaluar las zonas con potencialidades para su desarrollo. Sin embargo, Ravelo y Planchuelo (2003), alertaron sobre la importancia del tema; ya que permite encontrar el nicho ecológico más apropiado para los cultivos, y una utilización más racional de los recursos naturales.

4.2.1.1. Precipitaciones

En la figura 4 se presentan las precipitaciones medias anuales calculadas para el período 1976 – 2006 (30 años), con el propósito de caracterizar su comportamiento en la zona de estudio.

Las precipitaciones medias anuales oscilaron entre 400 mm y 3 800 mm. En la mayor parte del territorio ocurrieron precipitaciones que oscilaron entre 1 200 mm y 2 200 mm, con un promedio anual de 1 800 mm. Este comportamiento se encuentra dentro de los límites considerados para el desarrollo del cultivo, pues el mismo requiere de precipitaciones con valores mayores de 1 200 mm anuales.

En la parte baja de la llanura costera aterrizada de Maisí, las precipitaciones disminuyeron hasta 800 mm, y llegaron a alcanzar valores inferiores en puntos específicos. En la costa meridional al sur del macizo (llanura costera semidesértica de Guantánamo), las precipitaciones fueron inferiores a 600 mm por año; sin embargo, en las Cuchillas de Moa-Toa, las lluvias fueron superiores a 3 400 mm promedios anuales, con un ritmo anual de máximas en los meses de mayo y noviembre, así como dos mínimos en marzo y julio.

Esta característica de clima tropical lluvioso según Koppen (1936) citado por Cruz *et al.* (2007), es homogénea en toda el área montañosa del macrobloque de las sierras Nipe-Cristal-Baracoa, donde las precipitaciones exceden los 2 000 mm anuales.

El Nordeste del macizo montañoso, posee bajas alturas y es la zona más lluviosa del país. En esta zona, ocurrieron precipitaciones en el período poco lluvioso (noviembre - abril) entre 1 500 mm y 1 800 mm (Anexo 9), y en algunos años los valores estuvieron por encima del período lluvioso (Anexo 10). Lo anterior indicó, que en esta parte del macizo montañoso, las precipitaciones no se comportan como en el resto de la región y otras zonas montañosas del país.

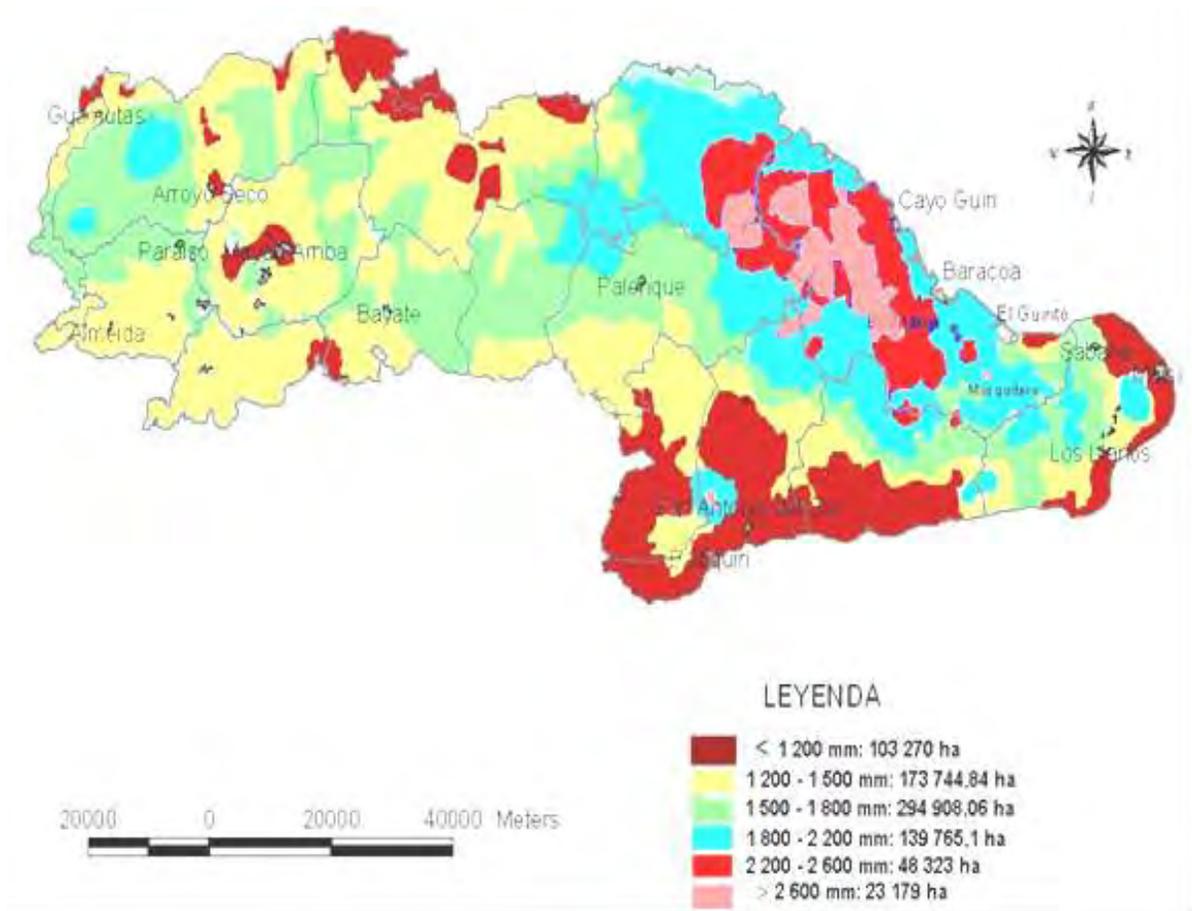


Figura 4. Mapa que representa la precipitación media anual en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

Presumiblemente, lo anterior se debe a la ubicación geográfica de este territorio, pues la vertiente Norte recibe directamente los efectos de los vientos alisios del Noreste y del Este-Noreste cargado de humedad, que al chocar con este sistema orográfico, provoca la incidencia de una mayor cantidad de precipitaciones en la parte Norte a diferencia con su similar del Sur. Estas observaciones son similares a las realizadas por Plana *et al.* (2010) en este mismo grupo orográfico.

El comportamiento de las precipitaciones en este territorio, está asociado con las condiciones del relieve (gradiente vertical), por lo que se denota un aumento gradual de las lluvias a medida que aumenta la altura. En este contexto, se comprobó que desde la parte inferior de las montañas hasta una altura de 400 msnm, el gradiente vertical es de 122 mm por cada 100 m de altura; sin embargo, éste disminuye a mayores elevaciones, con valores de 39 mm por cada 100 m de altura en elevaciones superiores a 400 msnm.

Por lo tanto, las grandes variaciones en la altitud de la región, crean condiciones muy especiales en los cambios y distribución de los elementos climáticos. Por eso, las características y variaciones del clima en este grupo orográfico, están determinadas por el relieve y la altura sobre el nivel del mar. Ello corrobora las observaciones realizadas por Montenegro (1991).

El cacao en Cuba se desarrolla preferentemente hasta los 700 msnm, con una mayor superficie a partir de los 200 msnm hasta los 600 msnm (Márquez, 2006). Según el modelo digital del relieve, las bases de datos asociadas a las precipitaciones y el gradiente vertical, estas condiciones coinciden con lluvias de hasta 2 200 mm, consideradas óptimas para el desarrollo de los principales procesos fisiológicos que se desarrollan en el cultivo (crecimiento vegetativo, floración y fructificación).

El comportamiento general de las precipitaciones en este macizo montañoso, permitió una adecuada humedad en el suelo durante todo el año y con ello la satisfacción de las

necesidades hídricas del cultivo. Según Durán (2002), este territorio tiene características singulares al resto del país, dado por sus altos índices de humectación que se corresponden con los valores de precipitación anual más elevados de la isla.

Según la distribución espacial de las precipitaciones y en correspondencia con las exigencias pluviométricas del cacao, en el territorio existe un área de 608 418 ha (77,67 % de la superficie total), que suplen las necesidades hídricas del cultivo (1 200 mm.año⁻¹ - 2 200 mm.año⁻¹). Sin embargo, también existen superficies con restricciones severas para el desarrollo del cacao debido a bajas precipitaciones (< 1 200 mm) en una superficie de 103 270 ha. o abundantes precipitaciones que conllevan a un exceso de humedad (> 2 200 mm) en una superficie de 71 502 ha., que equivalente a un 13,18 % y 9,15 % de la superficie total, respectivamente. Estas restricciones pueden incidir en diferentes procesos fisiológicos del cultivo, tal y como se explicó en el epígrafe anterior.

4.2.1.2. Temperatura

El territorio presentó una temperatura media anual entre 19 °C y 27 °C, con un promedio mensual de 25,6 °C, y se registraron además, temperaturas entre 22 °C y 24 °C en la mayor parte de la región (Figura 5). Por tanto, el comportamiento de esta variable climática, suple las exigencias del cultivo, pues el mismo requiere de una temperatura promedio mensual óptima de 25 °C. Estos valores se corresponden con el comportamiento de esta variable en las diferentes zonas de producción de cacao en el mundo.

Al respecto, Gómez y Azócar (2002) informaron que el rango general de temperatura promedio mensual para el cultivo oscila entre una mínima de 15 °C y una máxima de 30 °C, con un valor promedio de 25,5 °C, lo que coincide con el comportamiento de esta variable en la región objeto de estudio.

El comportamiento de las temperaturas en el territorio, también está asociado con las condiciones del relieve (gradiente vertical), por lo que se observó una disminución de las

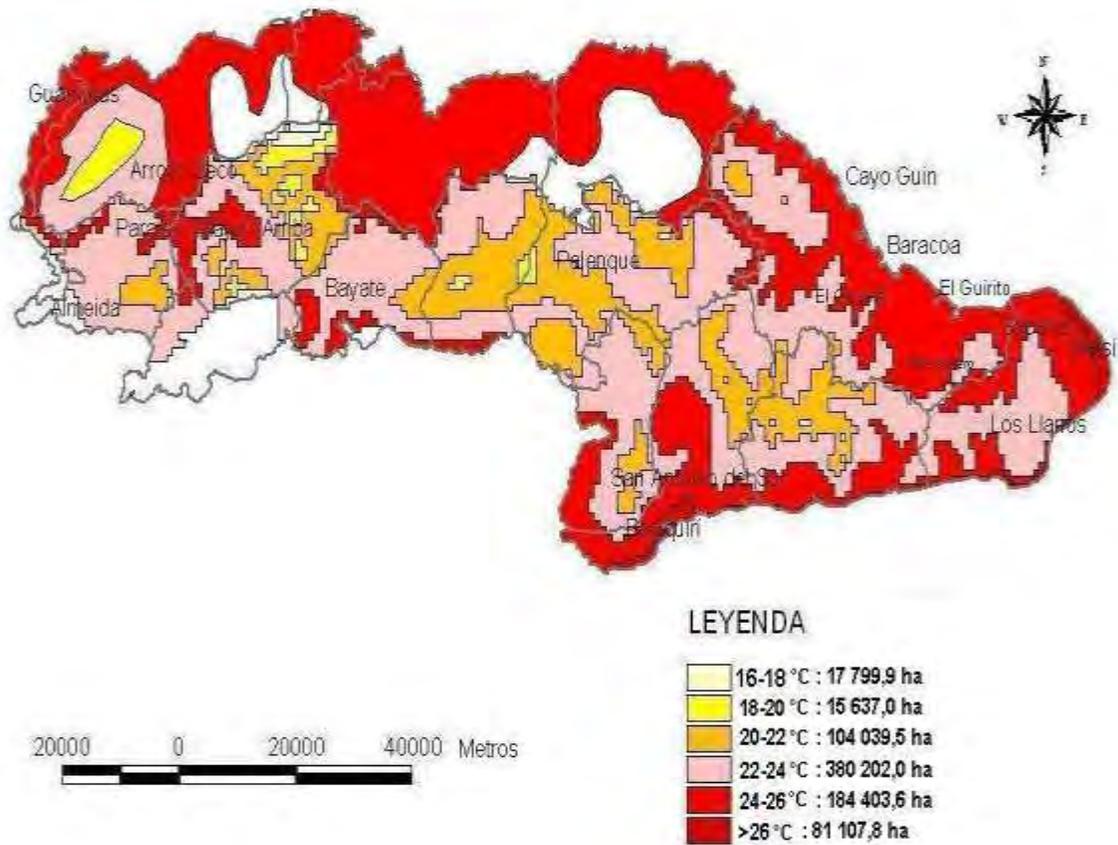


Figura 5. Mapa que representa la temperatura media anual del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

mismas en la medida que aumenta la altura. En este contexto, las temperaturas media y máxima del aire disminuyen $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la mínima media del aire $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, por cada 100 m de altura. Por ello, se registraron los valores más bajos en las zonas más elevadas y superiores a 600 msnm, y los más altos en los valles y región periférica de este grupo montañoso.

Las temperaturas mínimas promedios anuales de este sistema montañoso, oscilaron entre $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Anexo 11), y las máximas entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Anexo 12). En correspondencia con el gradiente vertical de temperatura respecto a la altura en este grupo montañoso, esta variable constituye una limitante para el cultivo, sólo en zonas con alturas elevadas para las mínimas y en los valles y zonas costeras para las máximas.

En sentido general, las temperaturas en este macizo montañoso facilitan los procesos fisiológicos del cultivo tales como, la floración, fructificación y crecimiento del tallo. Sobre este aspecto, Alvim (1984) informó que el proceso de floración se realiza a partir de los $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un óptimo de $25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por su parte, Ramos y Gómez (2004) y Batista (2009), coinciden en informar que estos valores de temperatura son óptimos para asegurar un crecimiento regular del árbol, con abundante formación de flores y frutos, una distribución adecuada de brotación de yemas y hojas nuevas durante el año.

En la mayor parte de la superficie del territorio estudiado (72,10 % de la superficie total), no se presentan limitaciones por la temperatura para el establecimiento del cultivo ($22\text{ }^{\circ}\text{C} - 26\text{ }^{\circ}\text{C}$); sin embargo, se determinaron áreas con restricciones para su desarrollo, ya sea por temperaturas bajas (137 476,4 ha.) o altas (81 107,8 ha.), equivalentes a un 17,55 % y 10,35 %, respectivamente.

Dependiendo de las precipitaciones, la principal limitante de las zonas con bajas temperaturas para el cultivo, es el aumento de la humedad relativa y la aparición de enfermedades que se presentan antes estas condiciones. Por otro lado, en zonas con altas

temperaturas, el cultivo estará expuesto a un mayor nivel de afectación por insectos dañinos, aspecto que está relacionado con lo informado por Córdova *et al.* (2001).

4.2.1.3. Zonificación climática

Considerando los criterios establecidos en las bases para la zonificación edafoclimática del cacao y combinando los mapas de precipitaciones y temperaturas, se representaron cuatro zonas climáticas en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa (Figura 6). Las mismas fueron:

Zona climática óptima: superficie con un comportamiento climático óptimo para el crecimiento y desarrollo del cacao. Ocupa un área de 91 835,75 ha., cuyas precipitaciones anuales varían desde 1 800 mm hasta 2 200 mm y temperatura media de 22 °C a 26 °C.

Zona climática medianamente óptima: superficie con un comportamiento climático medianamente óptimo para el crecimiento y desarrollo del cacao. Ocupa un área de 128 592,75 ha., cuyas precipitaciones anuales varían desde 1 500 mm a 1 800 mm y temperatura media de 22 °C a 26 °C.

Zona climática aceptable: superficie con un comportamiento climático aceptable para el crecimiento y desarrollo del cacao. Ocupa un área de 195 803,25 ha., cuyas precipitaciones anuales varían desde 1 200 mm a 1 500 mm y temperatura media de 22 °C a 26 °C.

Zona climática no apta: superficie con un comportamiento climático no apto para el crecimiento y desarrollo del cacao. Ocupa un área de 366 958,25 ha., cuyas precipitaciones anuales ocurren por debajo de 1 200 mm o mayores de 2 200 mm y temperatura por debajo de 21 °C o por encima de 26 °C.

La mayor parte del macizo montañoso (54,14 %), presenta condiciones climáticas adecuadas para el establecimiento del cultivo, en una u otra categoría según las bases definida para la zonificación, y en función de lograr el rendimiento estimado.

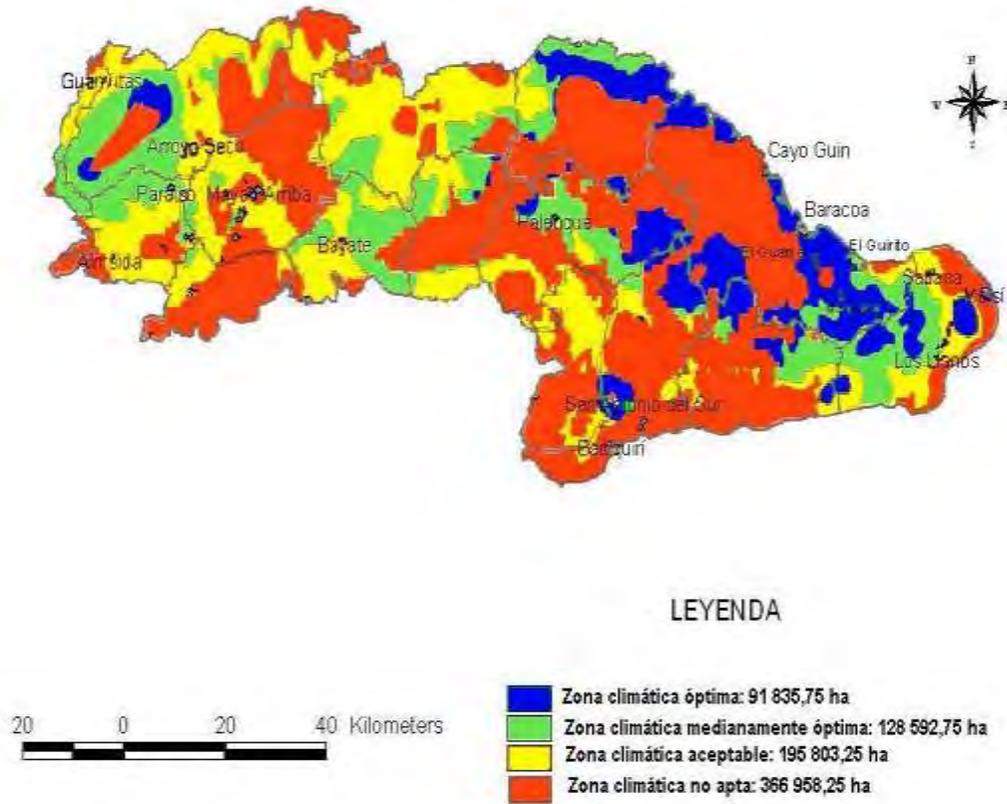


Figura 6. Mapa que representa las zonas climáticas para el establecimiento del cacao en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

4.2.2. Caracterización edáfica

Para realizar la caracterización edáfica en este grupo montañoso en función de la zonificación edafoclimática del cacao, es importante reconocer los requerimientos edáficos del cultivo. En el cacao, por ser un cultivo perenne, la selección del suelo constituye la mayor responsabilidad en la etapa de su establecimiento y es fundamental para obtener alta productividad.

Espinal *et al.* (2005), informaron que el cacao requiere suelos con dos características opuestas en un mismo agrupamiento: retención de humedad en periodo poco lluvioso, y a la vez buen drenaje en época lluviosa. Estas características están determinadas por la naturaleza de los mismos, fundamentalmente por sus características físicas. En consecuencia, la selección de los agrupamientos de suelos que respondan a dichas exigencias, es de vital importancia para la determinación de las zonas para el desarrollo cacaotero.

4.2.2.1. Agrupamientos de suelos para el cultivo del cacao

De los 14 agrupamientos de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999), ocho se encuentran representados en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa (Anexo 13), y de ellos sólo cuatro agrupamientos suplen los requerimientos edáficos del cacao (Figura 7). Estos son: Ferralíticos, Fersialíticos, Pardos Sialíticos y los Fluvisoles. Sus principales características compatibles con las exigencias del cacao se describen a continuación:

Agrupamiento Ferralíticos: Suelos de textura arcillosa y franco arcillosa con contenido de 30 % – 60 % de arcilla física, estructura granular, poliédrica fina, nuciforme y bloques subangulares pequeños. Profundidad efectiva de profundos y muy profundos.

Este agrupamiento ocupa un 13,62 % de la superficie total estudiada. Está integrada por los tipos de suelos Ferralítico Rojo, Ferralítico Rojo Lixiviado, Ferralítico Rojo Amarillento

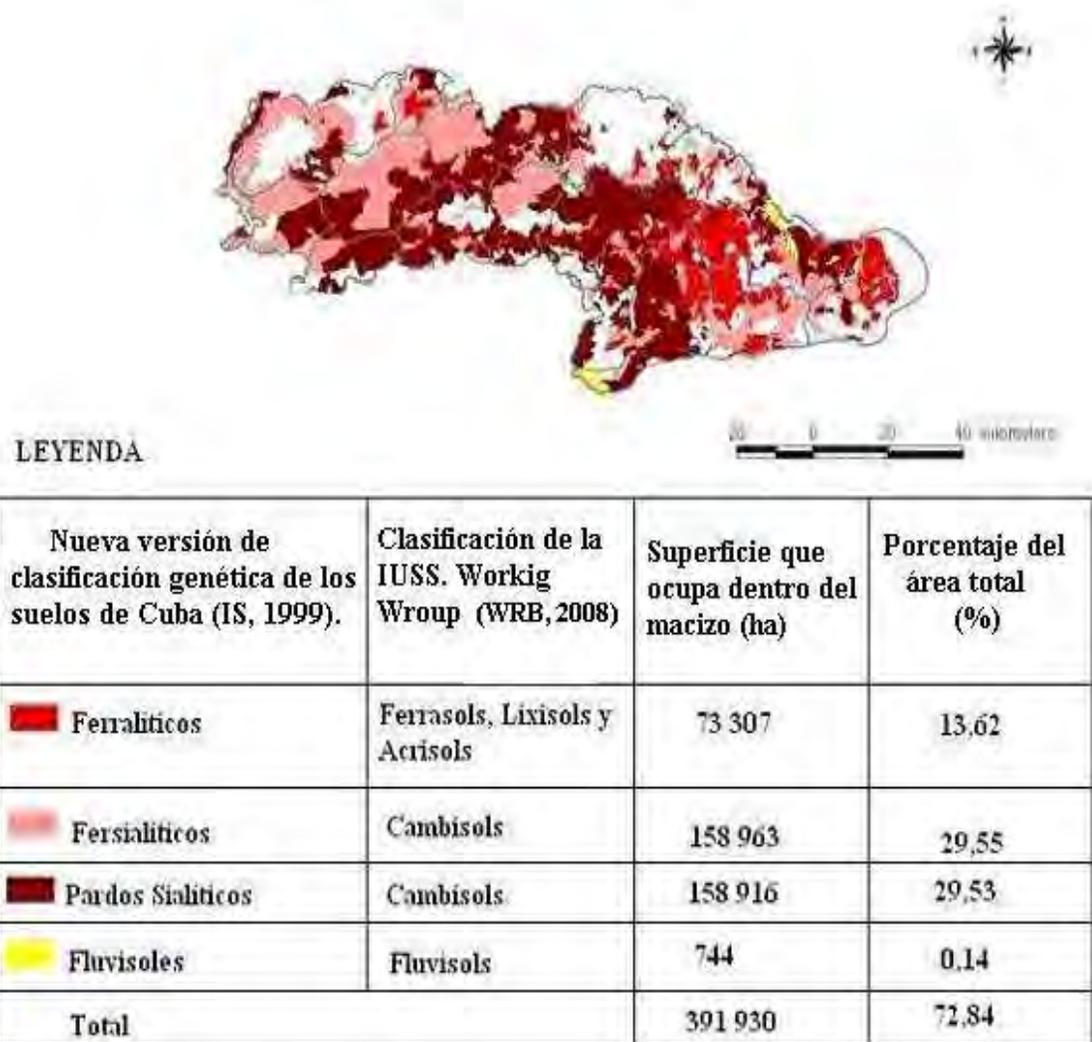


Figura 7. Mapa que representa los agrupamientos de suelos para *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

Lixiviado y Ferralítico Amarillento Lixiviado, los cuales presentan una gran variedad de subtipos y géneros. El más extenso es el Ferralítico Rojo Típico, seguido por el Ferralítico Rojo Amarillento Lixiviado Húmico Desaturado, con 4,68 % y 3,37 % del área total, respectivamente.

Estos tipos de suelos se distribuyen en la porción premontañosa y montañosa del sistema Nipe-Sagua-Baracoa, en alturas que oscilan desde 200 msnm. hasta 1 500 msnm., en relieves estables cuyas pendientes varían entre 3 % y 15 %.

El clima se caracteriza por lluvias desde 1 400 mm.año⁻¹ hasta más de 1 800 mm.año⁻¹ y coeficiente hidrotérmico en ocasiones >1,2 en húmedo y seco, pero hay áreas, como en el caso de los Ferralíticos Rojos, en los cuales el valor de este coeficiente en el período húmedo y seco es <1,2.

El material de origen es variable, desde calizas duras, rocas ígneas básicas y cortezas de intemperismo y rocas básicas. Son de perfil ABC y ABtC, los cuales se han formado por el proceso de Ferralitización, que se caracteriza por tener un horizonte B ferralítico. En ocasiones, este horizonte puede ser argílico para los casos de los Ferralíticos Rojos Lixiviados y los Ferralíticos Rojo Amarillentos Lixiviados.

Agrupamiento Fersialítico: Suelos de textura arcillosa (>60 %) o franco arcillosa (41 % - 50 % de arcilla), estructura granular, nuciforme, poliédrica mediana o pequeña, terrosa y bloques subangulares medianos. En su mayoría son suelos medianamente profundos y profundos.

El agrupamiento ocupa un 29,55 % del área total estudiada. Lo forman los tipos de suelos Fersialítico Pardo Rojizo y Fersialítico Rojo, los cuales tienen cada uno los subtipos mullidos y ócricos, así como una cantidad variable de géneros. Se destaca por su extensión el tipo Fersialítico Pardo Rojizo mullido que ocupa un 15,56 % del área total y ello lo ubica en el primer lugar en extensión de todos los suelos de este macizo montañoso.

Estos tipos de suelos se ubican en la porción premontañosa y montañosa del sistema Nipe-Sagua-Baracoa, en altura > 200 msnm (Fersialíticos Pardo Rojizos) y entre 200 msnm. - 400 msnm. y > 400 msnm. (Fersialíticos Rojos), en superficies relativamente estables con relieve poco o medianamente diseccionado para los primeros y superficies inestables los segundos, cuyas pendientes oscilan desde 6% hasta 15% .

El clima se caracteriza por lluvias entre $1\ 200$ mm.año⁻¹ - $1\ 600$ mm.año⁻¹ y $> 2\ 000$ mm.año⁻¹, con coeficientes hidrotérmicos en húmedo $> 1,2$ y en seco $< 1,2$.

El material de origen es diverso, rocas ultrabásicas como la serpentinita, básicas como el gabro, e intermedias como las tobas. Son de perfil ABC ó A(B)C, el proceso de formación es la fersialitización, presentando un horizonte de diagnóstico B fersialítico.

Agrupamiento Pardo Sialítico: Suelos de textura franco arcillosa (44% - 48% de arcilla) y arcillosa (52% - 56% de arcilla), estructura granular, bloques pequeños, subangulares y compacto. Son suelos medianamente profundos y profundos.

El agrupamiento ocupa una superficie de un $28,38\%$ del área total estudiada. Está integrada por los subtipos mullido, ócrico, cálcico y vértico, los que tienen una variada gama de géneros, siendo el subtipo Pardo mullido el más extenso de todos ($14,21\%$ del total), y el segundo suelo más extenso del territorio.

Estos subtipos se ubican generalmente en la porción premontañosa y montañosa de este sistema orográfico, en altura variable desde < 200 msnm. - 400 msnm. y > 400 msnm.; se presentan en relieves ondulados y alomados, donde la pendiente oscila desde $< 6\%$ hasta $> 15\%$.

El clima está caracterizado por lluvias variables $> 1\ 600$ mm.año⁻¹ hasta $1\ 800$ mm.año⁻¹ con coeficiente hidrotérmico en húmedo $> 1,2$ y en seco $< 1,2$.

Los materiales de origen son muy diversos, basalto, grabo-diabasas y areniscas calcáreas, observándose su marcada influencia en las propiedades de los suelos. Son de perfiles ABC,

cuyo proceso de formación es la sialitización, presentando un horizonte de diagnóstico B sialítico.

Agrupamiento Fluvisol: Suelos de textura franco y franco arcillosa, estructura granular y bloques subangulares medianos, con profundidad efectiva mayor de 60 cm (profundos).

Este agrupamiento solo ocupa una superficie de 744 ha, que representa 0,14 % del área total estudiada. Sobre esta misma superficie se encuentra un solo tipo de suelo (Fluvisol), con un subtipo de suelo (mullido). Se distribuyen en la porción premontañosa y en los valles aluviales, en alturas hasta los 200 msnm., en relieves estables cuyas pendientes varían entre 2 % y 10 %.

El clima está caracterizado por lluvias variables entre 1 000 mm.año⁻¹ y 1 200 mm.año⁻¹ con coeficiente hidrotérmico en húmedo < 1,2 y en seco < 1,2.

Estos suelos no tienen un proceso de formación definido, por tanto no presentan horizonte B. Son suelos de perfil AC que están sometidos a la influencia del llamado “proceso aluvial”, por lo que presentan una distribución irregular del contenido en materia orgánica en profundidad efectiva, debido a las inundaciones fluviales en forma sistemática, que sepultan el horizonte A del suelo precedente. Por lo regular son suelos fértiles y profundos.

Los agroecosistemas donde se desarrolla actualmente la cadena productiva del cacao en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, se encuentran sobre diferentes agrupamientos, tipos y subtipos de suelos. En la provincia de Guantánamo predominan los suelos Fersialítico Rojo Ócrico y Pardo Ócrico, en Santiago de Cuba los Pardo Mullido y Pardo Ócrico, y en Holguín los Ferralítico Rojo Típico y Fersialítico Pardo Rojizo Mullido (Selva *et al.*, 2004).

Lo anterior significa que el cultivo del cacao, se desarrolla fundamentalmente sobre los agrupamientos: Ferralíticos, Fersialíticos y Pardo Sialíticos. Las plantaciones de cacao desarrolladas sobre los Fluvisoles, se encuentran en menor cantidad, en las zonas bajas y

llanas de los municipios Baracoa y San Antonio del Sur. Por lo general estos suelos, igual que los suelos Húmicos Sialíticos y los suelos Pocos Evolucionados, en el sector agrícola se utilizan menos que los otros agrupamientos.

Los pequeños productores utilizan estos suelos para la producción de alimentos (MINAG, 2011), sin embargo, varios autores, entre ellos Paredes (2004); Márquez (2004) y Batista (2009), coinciden en afirmar, que los suelos más apropiados para el cacao son los Fluvisoles, con textura franca, profundos y con subsuelo permeable.

En países como Venezuela, el cacao está sembrado en la mayoría de los casos, en suelos Fluvisoles jóvenes que proporcionan por lo general condiciones físicas y de fertilidad adecuadas, con algunas excepciones. En su mayoría, son más apropiados que los suelos de los principales países productores como Ghana, con rendimientos promedios de $3,6 \text{ t.ha}^{-1}$.

Estudios sobre la caracterización y uso de los suelos por diferentes cultivos (entre ellos el cacao), realizados por Vera y Hernández (2012) en la provincia de Manabí en Ecuador, identificaron y describieron los suelos Fluvisoles, como adecuado para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

En el sistema orográfico objeto de estudio, estos suelos cumplen diferentes regularidades en su distribución geográfica, lo cual determina el área que ocupan estos agrupamientos. Según el esquema de zonalidad geográfica vertical de los suelos en la región Nipe-Sagua-Baracoa (Anexo 14), estos agrupamientos se ubican a distintas alturas con predomios de diferentes condiciones edafoclimáticas.

Desde los valles y zonas de bajas alturas, y hasta las mayores elevaciones del territorio, los cuatro agrupamientos de suelos que responden a las exigencias del cacao, se distribuyen en el siguiente orden: Fluvisoles, Pardo Sialítico, Fersialítico y Ferralítico. El clima, unido con

el relieve y la vegetación como agentes formadores de los suelos, pudo haber influido en esta distribución.

Al respecto, Hernández *et al.* (2006), informaron que en correspondencia con la gran complejidad regional del territorio, existe una interacción entre los factores que determinan la formación de los suelos; destacándose el clima, el material de origen, el relieve, la vegetación y el tiempo. Sin embargo, al mismo tiempo éstos constituyen los factores limitantes del entorno que limitan la productividad en estos agroecosistemas.

Los agrupamientos de suelos que no fueron seleccionados para el cacao (Alíticos, Ferríticos, Húmicos Sialíticos y los Pocos Evolucionados), poseen mayores factores limitantes de la agroproductividad que afectan el normal desarrollo del cultivo, comparados con los cuatro agrupamientos seleccionados. Estos factores principalmente son el resultado de las características edafológicas originadas de su proceso de formación en condiciones naturales.

En el caso particular de los suelos Alíticos, unos de los factores limitantes para el cultivo del cacao, es su toxicidad por el Aluminio cambiante. Al respecto, Hernández *et al.* (2005) indicaron que cuando la cantidad de este elemento en la solución del suelo alcanza concentraciones superiores a $1 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$, las implicaciones directas sobre el crecimiento de las plantas por intoxicación son notables.

Por otra parte, Vera *et al.* (2000) afirmaron que este catión puede limitar el desarrollo exitoso del cacao por sus efectos sobre la nutrición mineral y crecimiento radical de la planta. Las raíces se vuelven más gruesas y presentan puntos muertos. Si se acumula en las raíces impide la absorción y el traslado del calcio y el fósforo a la parte aérea, provocando deficiencias de estos elementos en la planta.

Los suelos Ferríticos limitan el desarrollo del cultivo fundamentalmente por las características hidrofísicas desfavorables, que unido a los nódulos ferruginosos, disminuyen

la agroproductividad de estos suelos. Al respecto Hernández *et al.* (2005), destacaron que en suelos de textura arenosa, el contenido de fósforo es más bajo en la solución del suelo, que en la parte interior de los nódulos ferruginosos.

Los suelos Pocos evolucionados y Húmicos Sialíticos limitan el desarrollo del cultivo fundamentalmente por la poca profundidad efectiva, y a estos últimos se le suman los altos contenidos de carbonatos que pueden bloquear la asimilación del fósforo.

4.2.2.2. Profundidad efectiva de los suelos para el cultivo del cacao

Según la composición pedológica general de la región estudiada, en la misma predominan los suelos muy poco profundos, poco profundos y los medianamente profundos, ubicados en un área total de 667 783,16 ha, siendo los profundos (61 cm – 100 cm) y muy profundos (> 100 cm) los que ocupan la menor superficie con 75 909,14 ha y 39 497,69 ha, respectivamente (Figura 8).

En correspondencia con las exigencias edáficas del cultivo del cacao en cuanto a profundidad efectiva se refiere, en la región estudiada existe una superficie sólo de 115 406,83 ha (14,73 % de la superficie total) favorables para el cultivo por tener profundidad efectiva superior a 60 cm. Lo anterior confirma que esta característica edáfica en el territorio, constituye una limitante para el desarrollo de los cultivos perennes, en particular para el cultivo del cacao.

La profundidad efectiva de los suelos es una de las propiedades que más limitan el normal crecimiento y desarrollo del cacao en el mundo. Este se denota con mayor influencia cuando la fertilidad del suelo es escasa, por lo que se requieren de suelos que sean profundos y con buena fertilidad (MINAG, 1987).

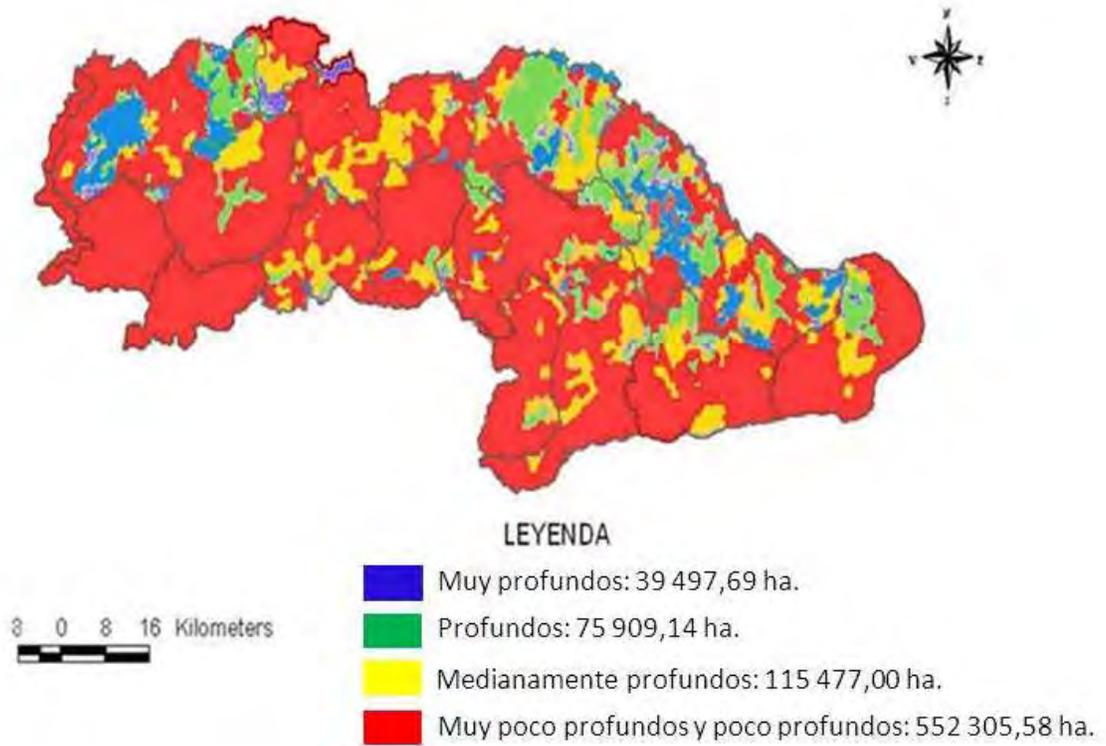


Figura 8. Mapa que representa la profundidad efectiva de los suelos en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

4.2.2.3. Zonas edáficas para *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

La combinación de los agrupamientos de suelos seleccionados para el cultivo del cacao, y las condiciones de profundidad efectiva que cumplen sus exigencias en la región estudiada según las bases de la zonificación edafoclimática, originaron cuatro zonas edáficas (Figura 9). Las zonas edáficas identificadas fueron: óptima, medianamente óptimas, aceptables para las superficies en las que se puede desarrollar el cultivo, y no aptas para las superficies que no cumplen con la profundidad efectiva adecuada y el conjunto de propiedades que identifican los tipos de suelos idóneos para el desarrollo del cacao.

Particularmente en la zona edáfica óptima, se identificó la existencia de 10 419 ha, cuya profundidad efectiva es superior a 100 cm (muy profundos). En esta área se encuentran las mejores condiciones de suelos para un óptimo crecimiento y desarrollo del cultivo, y es donde se deberán manifestar los mayores rendimientos en dependencia de las condiciones climáticas.

Dentro de los agrupamientos seleccionados, se identificaron en las zonas edáficas medianamente óptimas y aceptables superficies que poseen menos profundidad efectiva, que abarcaron un área de 41 491 ha y 100 914 ha, respectivamente. Así mismo, existe una superficie no apta para el cultivo, que se extiende en un área de 630 366 ha (80,48 % de la superficie total) sobre suelos que no responden a los requerimientos del cultivo.

Desde el punto de vista edáfico, en el macizo montañoso existe una superficie total de 152 824 ha con características edáficas favorables para el crecimiento y desarrollo del cultivo, que representa el 19,52 % del área total.

Según ACC (1989), los suelos del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa son mayormente poco y medianamente productivos, lo que permite suponer que se debe a las condiciones de la profundidad efectiva, la cuál está relacionado con la naturaleza de sus suelos y el potencial erosivo de los mismos en una región de ecosistemas frágiles, cuyo

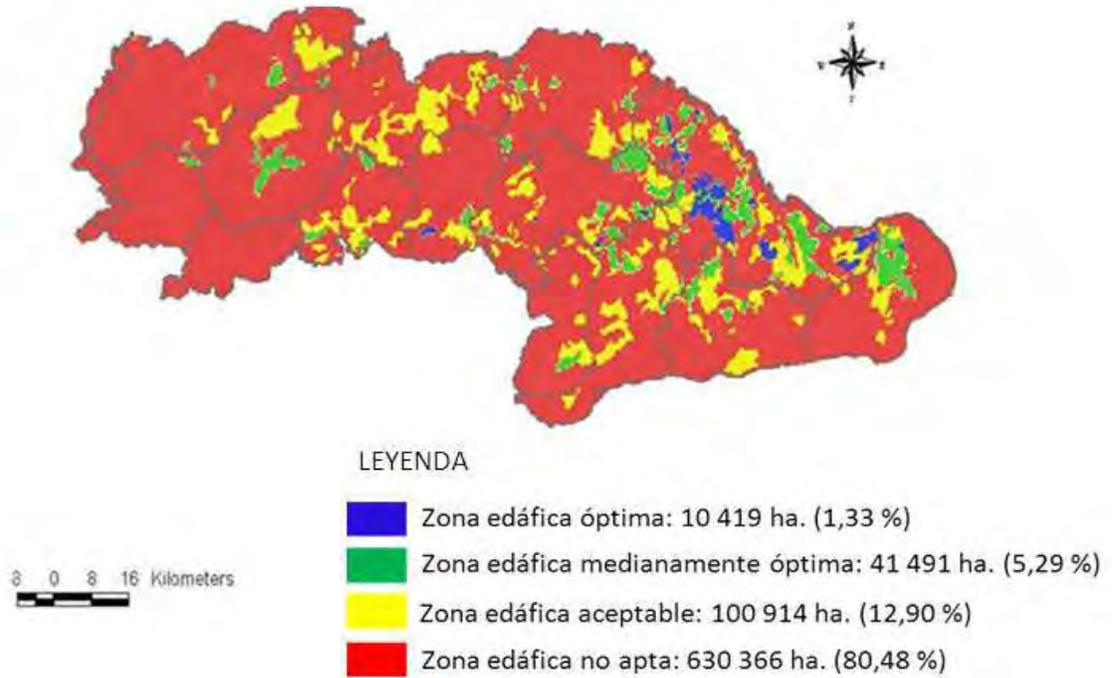


Figura 9. Mapa que representa las zonas edáficas para *Theobroma cacao* L., en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

régimen pluviométrico y el relieve colaboran con las constantes escorrentías y las pérdidas de suelos por erosión hídrica.

En resumen, el comportamiento del régimen de las precipitaciones en la mayor parte de esta región montañosa y el comportamiento de las temperaturas, permitieron delimitar cuatro zonas climáticas, para el desarrollo del cultivo. Dentro de ellas, más del 50 % de la superficie total poseen condiciones climáticas favorables para obtener adecuados rendimientos, considerando una apropiada distribución de las precipitaciones, siendo ésta la variable de mayor influencia sobre el cultivo.

Los resultados de la caracterización edáfica en la región, identificaron las zonas edáficas para el desarrollo del cultivo, no obstante, la profundidad efectiva de los suelos, fue la principal limitante de su agroproductividad.

4.3. Zonificación edafoclimática para *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

Los resultados de la combinación entre las zonas climáticas y edáficas apropiadas a las exigencias del cultivo, considerando las bases de la zonificación definida para el cacao, originaron las zonas edafoclimáticas representadas en la figura 10, y su distribución en los municipios y provincias en la tabla 8. Las mismas fueron:

Zona óptima: abarca sólo un 0,28 % de la superficie total del macizo montañoso. De los 14 municipios que componen la región, sólo está representada en los municipios de Baracoa y Yateras de la provincia Guantánamo y en Moa y Mayarí Abajo de la provincia de Holguín. De ellos, Baracoa es el de mayor superficie en esta categoría, coincidiendo con el municipio que en la actualidad posee el mayor rendimiento de cacao y la mayor superficie del país.

De los cuatro municipios, todos con la excepción de Mayarí Abajo, poseen antecedentes en el cultivo, lo cual indicó la existencia de nuevas zonas con óptimas condiciones para

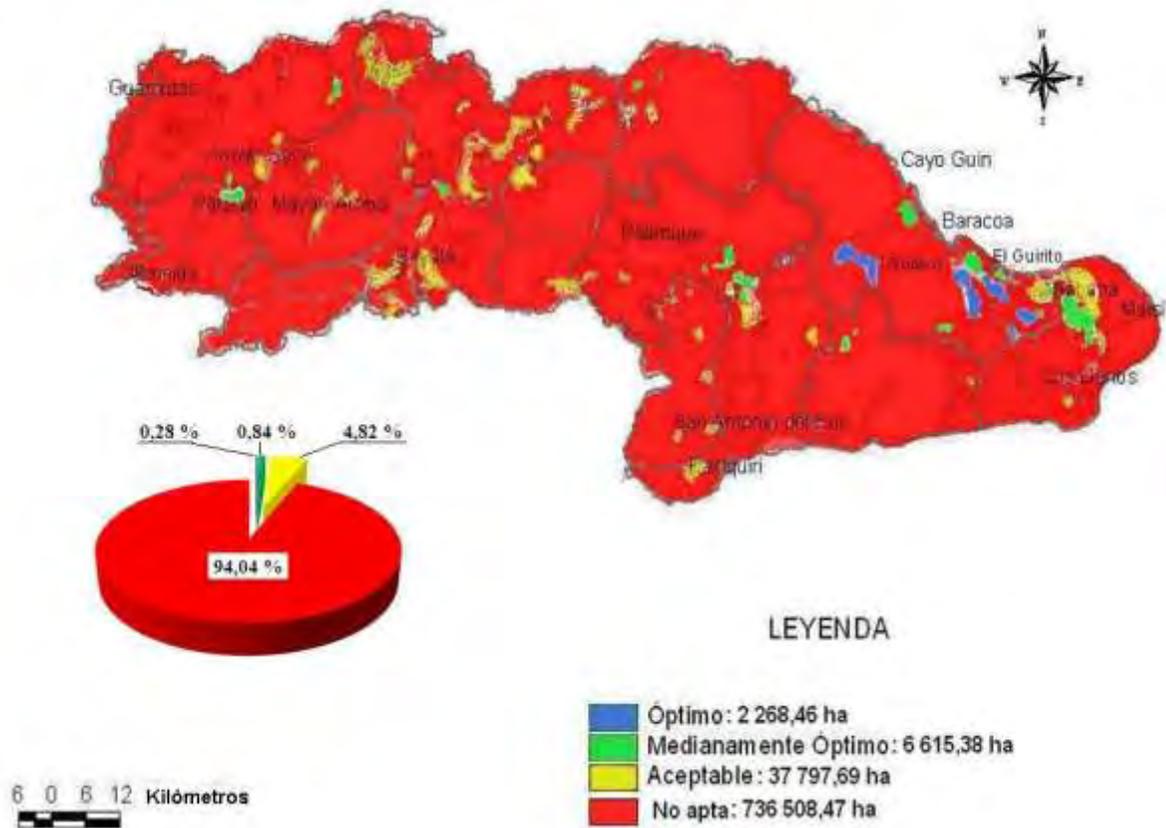


Figura 10. Mapa que representa la zonificación edafoclimática para *Theobroma cacao*, L. en el macizo Montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

desarrollar el cacao, que no se explotan con este objetivo; aún cuando sólo tienen condiciones para el establecimiento de 6,05 ha en el municipio Moa y 8,51 ha en el municipio Mayarí Abajo.

Esta zona no posee limitaciones agroproductivas para el cultivo, por tanto se deberá alcanzar el mayor rendimiento estimado definido en las bases de la zonificación, que para esta categoría es de más de 2 t.ha⁻¹, lo que indica obtener producciones mayores de 4 536.92 t.

Tabla 8. Superficie (ha) que ocupa la zonificación edafoclimática para el cacao distribuidas por provincias y municipios pertenecientes al macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa.

Provincias	Municipios	Superficie actual plantada de cacao (ha)	Superficie propuesta por categorías de zonificación (ha)			
			Óptima	Med. óptima	Aceptable	No apta
Guantánamo	Maisí	727,3	-	2 353,70	3 925,62	48 796,22
	Baracoa	4 177,6	2 150,33	1 107,02	1 165,27	94 386,60
	Imías	846,34	-	323,03	417,74	55 668,57
	S. Antonio	231,4	-	354,23	1 853,29	58 611,10
	M. Tames	-	-	-	1 916,80	37 790,03
	Yateras	89,9	103,57	1 181,85	1 004,96	68 619,19
	Guantánamo	-	-	22,63	2 542,78	38 032,90
	El Salvador	26,7	-	317,84	5 830,93	32 905,82
Holguín	Moa	222,8	6,05	147,17	1 184,59	61 900,90
	Sagua	420,0	-	13,01	10 225,34	55 516,63
	F. País	77,8	-	-	4 051,90	15 618,29
	M. Abajo	-	8,51	384,87	1 802,34	77 030,47
Santiago de Cuba	M. Arriba	-	-	-	1 876,13	55 640,49
	San Luís	-	-	410,03	-	35 991,26
Total		6 819,84	2 268,46	6 615,38	37 797,69	736 508,47

Zona medianamente óptima: abarca 0,84 % de la superficie total estudiada y se encuentra representada en todos los municipios de la región, excepto en el municipio Manuel Tames

de la provincia Guantánamo, Frank País de Holguín y Mayarí Arriba de Santiago de Cuba. La mayor superficie encontrada en esta zona fue en el municipio Maisí, seguido de los municipios Yateras y Baracoa de la provincia Guantánamo. En esta zona se deberá alcanzar un rendimiento entre 1 t.ha^{-1} y 2 t.ha^{-1} , que indica obtener producciones mínimas de 6 615,38 t.

La zona aceptable: abarca 4,82 % de la superficie total del grupo orográfico objeto de estudio y se encuentra distribuida en todos los municipios del macizo montañoso con excepción de San Luis en la provincia de Santiago de Cuba. Posee la mayor superficie en los municipios Sagua y El Salvador de las provincias de Holguín y Guantánamo, respectivamente. En esta zona se deberá alcanzar un rendimiento entre $0,5 \text{ t.ha}^{-1}$ y $0,99 \text{ t.ha}^{-1}$, que indica obtener producciones mínimas de 18 898 t.

La zona no apta: abarca la mayor superficie de todas las clases de aptitud para el cacao (736 508,47 ha) que representa el 94,04 % de la superficie total. En esta superficie no existen las condiciones edafoclimáticas que respondan a los requerimientos del cacao, dado por los factores limitantes de la región, con mayor influencia de la profundidad efectiva de los suelos y las precipitaciones, siendo éstos los más limitantes. Esta categoría se encuentra representada en todos los municipios de la región estudiada.

En la actualidad el cacao se desarrolla en dos provincias, nueve municipios y 51 sitios. Sin embargo, por los resultados obtenidos en la zonificación edafoclimática para el cultivo en este territorio, la distribución geográfica de las zonas resultantes permitió distinguir las potencialidades edafoclimáticas para el establecimiento del cultivo en tres provincias y 14 municipios. Lo anterior indicó la existencia de nuevos territorios con posibilidades para el establecimiento del cultivo sin antecedentes en el mismo. Ellos son:

- Provincia Guantánamo: Municipios de Guantánamo y Manuel Tames
- Provincia de Santiago de Cuba: Municipios San Luis y Mayarí Arriba

- Provincia de Holguín: Municipio de Mayarí abajo.

Estas nuevas zonas, posibilitan extender el cultivo a otras regiones del macizo montañoso, en dependencia de los resultados del proceso de toma de decisiones para la materialización del programa de desarrollo del cacao. Por otra parte, los resultados demostraron la posibilidad de ampliar superficies para el desarrollo del cultivo, en municipios donde se encuentra actualmente el mismo, además de la existencia de zonas que actualmente se desarrolla el cultivo y que no responden a ninguna de las categorías de zonificación estudiadas.

Las técnicas de superposición de mapas, pudieran lograr una mayor representación de lo informado anteriormente, con el objetivo de verificar la superficies coincidentes de los resultados de la zonificación y el uso actual de los suelos, con especial énfasis en el tipo de uso de suelo objeto de la investigación (cultivo del cacao).

En este contexto, se significa que en la actualidad no se dispone de la información necesaria relacionada con los mapas actualizados de usos de suelos y su digitalización, en este grupo orográfico. Por lo tanto, no se puede realizar el proceso de superposición de los resultados de la zonificación edafoclimática realizada, con las condiciones actuales, lo cual constituye unos de los aspectos a tener en cuenta en futuras investigaciones.

La mayor superficie con potencialidades para el desarrollo del cultivo, está en la provincia de Guantánamo, seguido de Holguín y Santiago de Cuba. El área que se propone es superior a la actual plantada en todas las provincias.

Desde el punto de vista productivo y teniendo en cuenta los rendimientos medios para cada categoría de zonificación, se estimó que en la provincia de Guantánamo se podrá obtener una producción de 26 991,29 t de cacao oro, en Holguín 13 794,21 t y en Santiago de Cuba (sin antecedentes en el cultivo), 2 022,13 t. En el proceso de toma de decisiones, sobre la materialización de los resultados de la zonificación para el cultivo del cacao en este grupo

montañoso, será necesario el cumplimiento de la tecnología de cultivo para obtener dicha producción estimada.

Como referencia de las experiencias sobre la zonificación del cultivo del cacao en el mundo, se indica a Venezuela como uno de los países de América, con mayor desarrollo en estos estudios. Muchos de los trabajos realizados fueron de tipo cualitativo, basados en una comparación de las exigencias del cultivo con las condiciones climáticas de un conjunto de localidades (Warnock, 1989). La presente investigación tuvo un carácter cuantitativo, además de abordar el aspecto cualitativo, ya que se hizo un análisis de la cantidad de superficies con potencialidades para el desarrollo del cultivo, sus resultados productivos y su comparación con la superficie actual.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, contribuyen al aumento de la eficiencia económica y ecológica de los agroecosistemas cacaoteros; lo que se corresponde con uno de los elementos más importantes de los trabajos de zonificación edafoclimática, que es su relación con la protección y conservación de los recursos naturales, y con ello, el aporte a la sostenibilidad en la agricultura. El establecimiento del cacao en zonas que respondan a sus exigencias edafoclimáticas, permite un mayor aprovechamiento de los recursos naturales para la formación de la biomasa necesaria en función de adecuadas producciones.

En este sentido, el suelo, el agua y las especies vegetales del entorno cacaotero, constituyen los recursos naturales que se vinculan con los resultados del estudio realizado. El establecimiento del cacao en suelos adecuados, contribuye al mantenimiento de su fertilidad debido a la materia orgánica que depositan la hojarasca del propio cultivo y el beneficio de la sombra de otros árboles para su protección. Estos crean además, el ambiente necesario para que la microfauna pueda desarrollarse con toda facilidad.

Por otra parte, la ubicación del cacao en zonas con adecuadas condiciones de clima, es una estrategia que contribuye a enfrentar los cambios que en la actualidad ocurren en algunos patrones del clima global. Este constituye uno de los problemas ambientales más graves

que enfrenta actualmente la humanidad, y la agricultura no sólo contribuye al calentamiento global, sino que en gran medida es afectada por él (Valdés y Vargas, 2011).

En este contexto, el cambio climático pudiera aumentar la falta de agua en las plantas y extensas áreas agrícolas bajo la sequedad, comprometiendo con ello la cosecha (IPCC 2007 a), así mismo se predice un incremento de la temperatura entre 1,8 °C - 4 °C (IPCC 2007 b). Por tanto, el cambio climático influye en la producción agrícola, debido a los siguientes aspectos: la frecuencia y severidad de los eventos extremos, el aumento de la producción debido al efecto fertilizador por medio de mayores concentraciones de CO₂, la alteración de la cosecha debido a un cambio en el número de grados-día de crecimiento y modificando la ocurrencia y la severidad de plagas y enfermedades (IPCC, 2007 a).

Las plantaciones de cacao, son sitios con alta capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂) y liberación de oxígeno (O₂), por la gran cantidad de biomasa que produce y el hábito de crecimiento del mismo. Por lo que el establecimiento del mismo en sitios donde se realice un crecimiento y desarrollo más eficiente, contribuirá al enfrentamiento de los efectos del cambio climático.

Entre las estrategias agrícolas para el enfrentamiento al cambio climático, se pueden citar: La zonificación agroecológica de los cultivos, utilización de los datos del clima para la toma de decisiones en la producción agrícola, obtención de variedades adaptadas a condiciones climáticas desfavorables, perfeccionamiento de la tecnología y disciplina tecnológica de la producción, redistribución de las áreas de siembra entre diferentes cultivos y desarrollo de nuevas tecnologías de producción agrícola, entre otros.

Por lo anteriormente expuesto, el estudio realizado en la presente investigación constituye una herramienta para enfrentar los retos a los cambios del clima, teniendo en cuenta además que la zonificación edafoclimática ha de convertirse en una estrategia para impulsar la agricultura de precisión que necesita el mundo en la actualidad, en correspondencia de los cambios de los patrones del clima y la constantes pérdidas de las propiedades integrales de los suelos.

En resumen, se identificaron y cuantificaron por cada categoría, las superficies con potencialidades para el desarrollo del cacao. Ello se realizó en cada municipio y provincia pertenecientes al macizo montañoso, además de lograr los rendimientos estimados.

En el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa se pueden establecer o mantener en zonas óptimas, medianamente óptimas y aceptables, un total de 46 681,07 ha equivalentes a 5,96 % de la superficie total del macizo, para obtener rendimientos entre 0,50 t.ha⁻¹ y más de 2 t.ha⁻¹ de cacao oro. Además, se determinó un 94,04 % de la superficie total con condiciones edafoclimáticas incompatibles con la exigencias del cacao (zonas no aptas).

La superficie que se propone es 6,8 veces superior a la actualmente plantada en el territorio que es de 6 819 ha y el rendimiento que se estima es 5,3 veces superior a la media obtenida en los últimos 5 años en esta región que es de 0,28 t.ha⁻¹ (MINAG, 2011).

4.4. Validación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao

La validación de las propuestas de zonificación es una de las etapas que por lo regular no ha sido realizada en los estudios de zonificación agroecológica y edafoclimática en el mundo (Pérez y Geissert, 2006), y según este autor esta experiencia ha sido mínima cuando se trata de sistemas agroforestales. Para el caso particular del cacao, también los estudios realizados en este tema, adolecen de esta etapa, sin embargo la validación de los resultados de la zonificación permite una mayor efectividad en el proceso de toma de decisión, sobre todo cuando se trabaja con grandes extensiones.

4.4.1. Resultados del proceso de selección del municipio para la validación

El BIPLLOT resultante de aplicar un análisis multivariado para seleccionar el municipio objeto de validación de los resultados obtenidos en la zonificación, permitió la caracterización de los elementos de la muestra (Figura 11). Con los componentes 1 y 2 se explica un 95,89 % de la variabilidad de los datos originales, con una contribución del componente 1 (eje X) de un 92,70 % y del componente 2 (eje Y) de un 3,19 %.

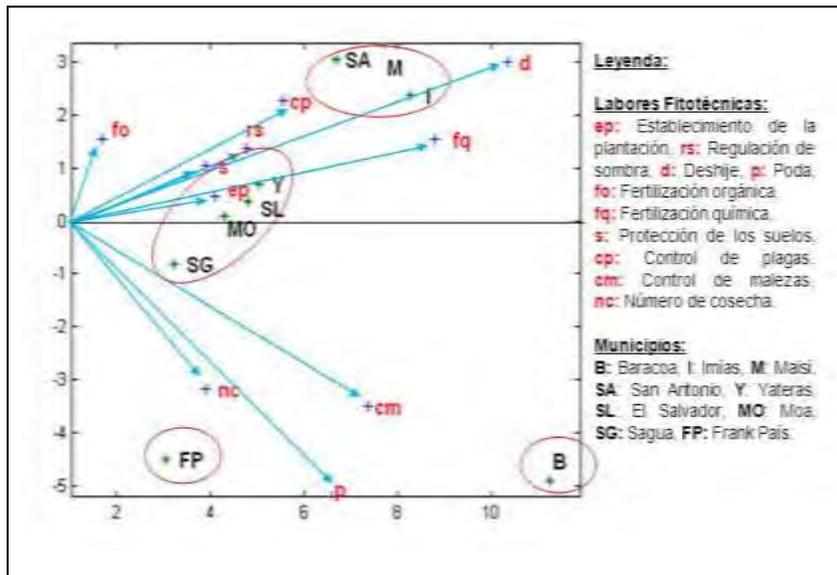


Figura 11. Representación Biplot según el análisis de componentes principales de los municipios cacaoteros y las labores fitotécnicas evaluadas en las encuestas.

Según la interpretación BIPLLOT basadas en concepto geométricos sencillos (Varela, 2002), si la similitud entre los individuos (en este caso los municipios) es una función inversa de la distancia entre los mismos, entonces atendiendo a esta representación gráfica, el

comportamiento de la aplicación de las tecnologías en el municipio de Baracoa es diferente y superior al resto de los municipios cacaoteros, ya que se caracteriza por tener la mayor cantidad de productores que aplican adecuadamente las diferentes técnicas de cultivo. Así mismo, los productores de los municipios de Imías, Maisí y San Antonio, aplican de forma similar las diferentes técnicas de cultivo, al igual que los productores de los municipios Yateras, el Salvador, Moa y Sagua.

En correspondencia con la longitud de los vectores que representan las técnicas de cultivo, las de mayor contribución al positivo comportamiento del municipio de Baracoa, fueron el deshije (d), la fertilización química (fq), la poda (p) y el control de malezas (cm). Al mismo tiempo éstas fueron las de mayor variabilidad en las respuestas para todos los municipios estudiados. Sin embargo, según Selva *et al.* (2004), estas actividades definen el nivel tecnológico de una región, por ser del primer nivel dentro de los criterios de segmentación para este objetivo.

Estos resultados pueden estar relacionados con la amplia tradición cultural que poseen los productores de este municipio en el desarrollo del cultivo, además de contar con la infraestructura productiva más completa de Cuba en la cadena productiva del cacao.

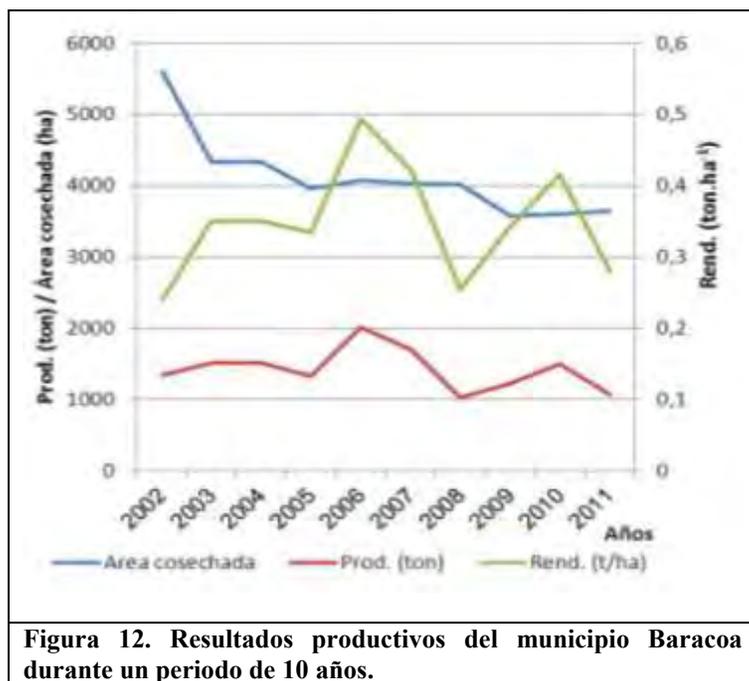


Figura 12. Resultados productivos del municipio Baracoa durante un periodo de 10 años.

En el municipio de Baracoa se concentra la mayor superficie y la mayor producción de cacao en el país (48 % y 70,4 %, respectivamente), con una superficie total actual dedicada al cultivo de 4 177,6 ha (Figura 12), un área cosechada de 3 646,2 ha y un rendimiento promedio en los últimos 10 años de 0,36 t.ha⁻¹ (MINAG, 2012).

Sin embargo, Márquez (2004) expresó que el municipio posee condiciones para lograr mayor producción, cuando registró un rendimiento promedio de 1,15 t.ha⁻¹ en plantaciones de los mejores productores de cacao en el país.

4.4.2. Proceso de validación en sitios representativos del municipio Baracoa

Teniendo en cuenta la distribución de las zonas edafoclimáticas representadas en el municipio, además de la disponibilidad de información de suelos, clima y productiva, los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao se validaron en diferentes sitios seleccionados, mostrándose a modo de ejemplo, tres sitios con las características particulares de cada categoría de zonificación: La Poa, El Guirito y Guandao.

El sitio La Poa se encuentra dentro de las zonas con características edafoclimáticas óptimas para el desarrollo del cultivo del cacao. En este se encuentra un productor con rendimientos

promedios en 10 años de $1,89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, uno de los valores más altos obtenidos en el municipio y en el país. Lo anterior indicó, que en algunos años los rendimientos fueron superiores a $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, resultados que validan las potencialidades para aumentar la producción de cacao en ese territorio bajo estas condiciones (Figura 13).

Desde el punto de vista edafoclimático, las plantaciones se encuentran en una zona con precipitaciones medias anuales de $1\ 935 \text{ mm}$, temperatura media anual de $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$, sobre un suelo Fluvisol Mullido. Se evaluó una profundidad efectiva de 110 cm (muy profundo), en relieve ligeramente llano.

Las condiciones para la validación de las zonas medianamente óptimas se realizaron en El Guirito, donde se encuentran varios productores de cacao con rendimientos similares al estimado para esta categoría ($1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ - $1,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Particularmente se evaluó un productor con rendimientos promedios en 10 años de $1,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 14).

Desde el punto de vista edafoclimático, las plantaciones se encuentran en una zona con precipitaciones medias anuales entre $1\ 400 \text{ mm}$ y $1\ 600 \text{ mm}$ para un promedio de $1\ 500 \text{ mm}$, temperatura media anual de $25,3 \text{ }^\circ\text{C}$, sobre suelos de agrupamiento Ferralíticos, tipo Ferralítico Rojo, subtipo Típicos, con una profundidad efectiva de 87 cm , en relieve medianamente ondulado.

La validación para las zonas aceptables se realizó en El Guandao, con plantaciones cuyos potenciales de rendimientos coinciden con los descritos para esa categoría ($0,50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ - $0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Los resultados de la caracterización productiva en plantaciones de cacao de un productor con adecuada aplicación de la tecnología para el cultivo, demostró rendimientos promedios anuales de $0,76 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estas se encuentran en una zona con precipitaciones medias anuales de $1\ 470 \text{ mm}$, temperatura media anual de $25,8 \text{ }^\circ\text{C}$, sobre suelos con agrupamiento Pardo Sialítico, tipo Pardo, subtipo Mullido, con una profundidad efectiva de 62 cm

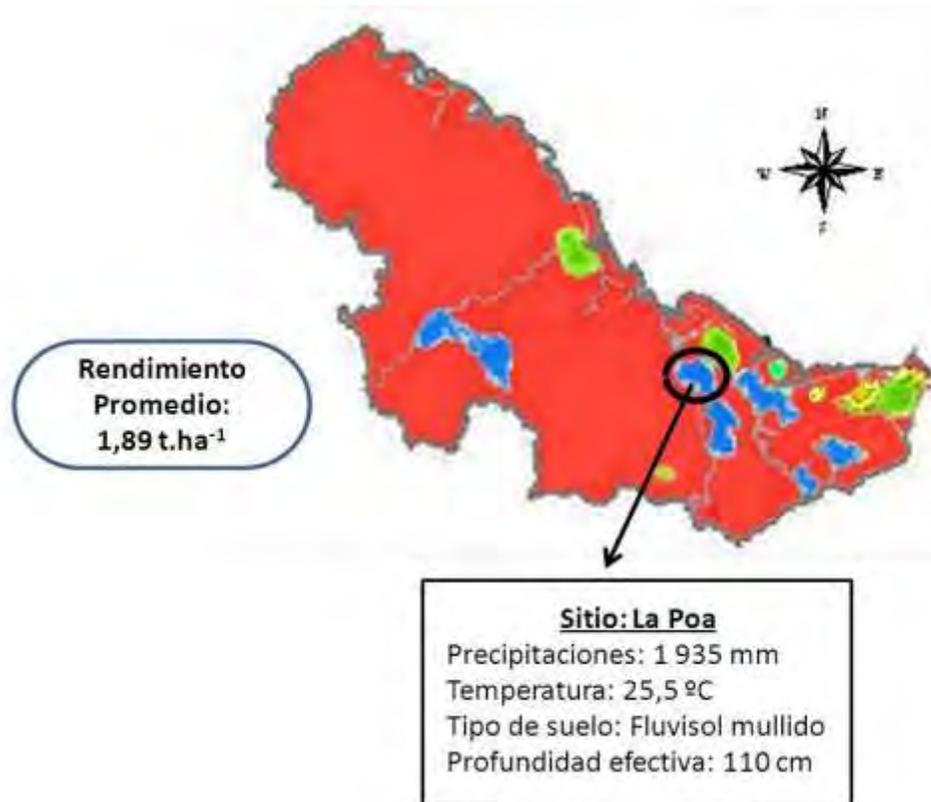


Figura 13. Principales características edafoclimáticas y productivas de “La Poa”, como sitio de validación de la categoría de zonificación óptima

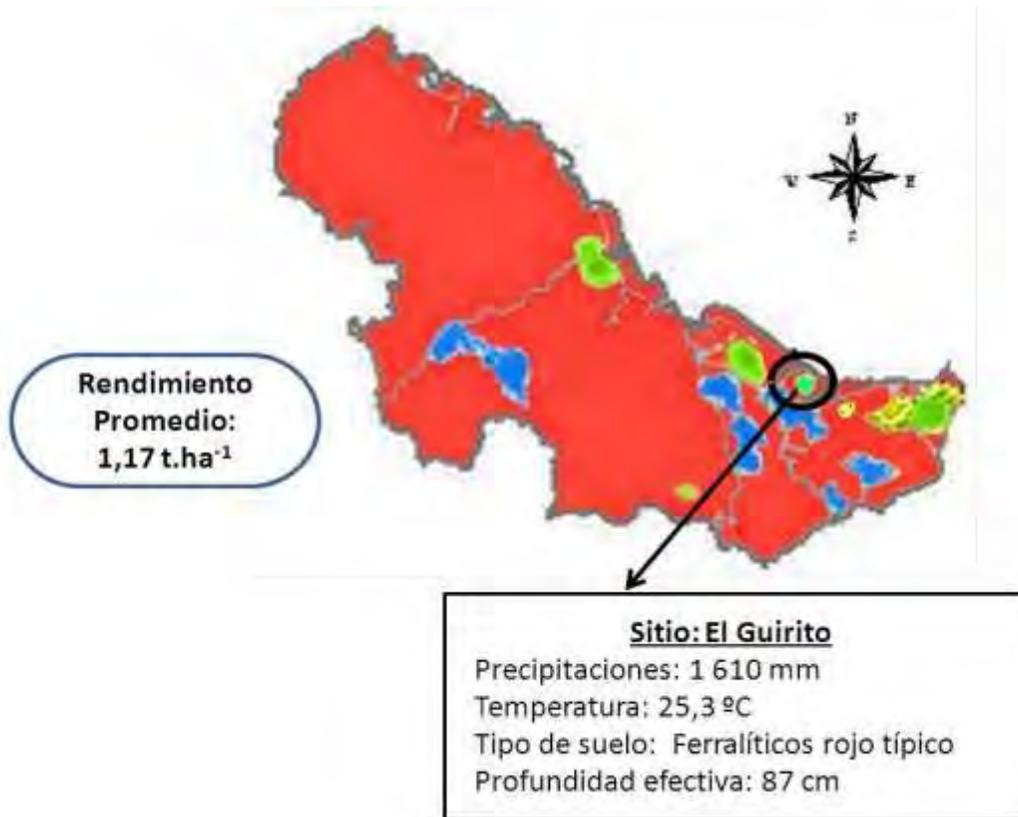


Figura 14. Principales características edafoclimáticas y productivas de “El Guirito”, como sitio de validación de la categoría de zonificación medianamente óptima

(medianamente profundos) y relieve medianamente ondulado a ondulado en ladera con orientación norte (Figura 15).

Según Carmona (2004), la validación es un proceso por el cual se aportan evidencias que apoyan la interpretación de los datos, la información o los resultados obtenidos. Por tanto, la validación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao en el macizo Nipe-Sagua-Baracoa, permitió la comparación de los criterios descritos en las bases de la zonificación representadas en un mapa a escala 1:100 000, con las condiciones actuales de producción a una escala de trabajo real, como parte de las evidencias que validan los resultados.

Este proceso, garantizó confiabilidad en los resultados y en la metodología utilizada, sobre la base de establecer un sistema de toma de decisiones que logre el reordenamiento del cultivo en zonas que respondan a las exigencias del mismo y el apoyo al programa de desarrollo cacaotero en las nuevas plantaciones.

4.5. Análisis económico de la aplicación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa

El valor de la producción se incrementó a medida que aumentaron los rendimientos en cada categoría definida (Tabla 9). Las plantaciones que se desarrollaron en zonas con condiciones edafoclimáticas óptimas, lograron mayor relación beneficio/costo con notables ganancias, respecto al resto de las plantaciones. Esta relación disminuyó en la medida que decreció el rendimiento de cacao, hasta obtener en zonas aceptables valores por debajo de tres, lo cual indicó el aporte de un 100 % de beneficio.

Pérez (2011) informó que valores del B/C superiores a tres, corresponden a ganancias muy notables de alternativas analizadas, debido al alto valor de la producción obtenido en comparación con tratamientos testigos; aspecto que se evaluó en los resultados económicos de los sitios validados en zonas óptimas y medianamente óptimas.

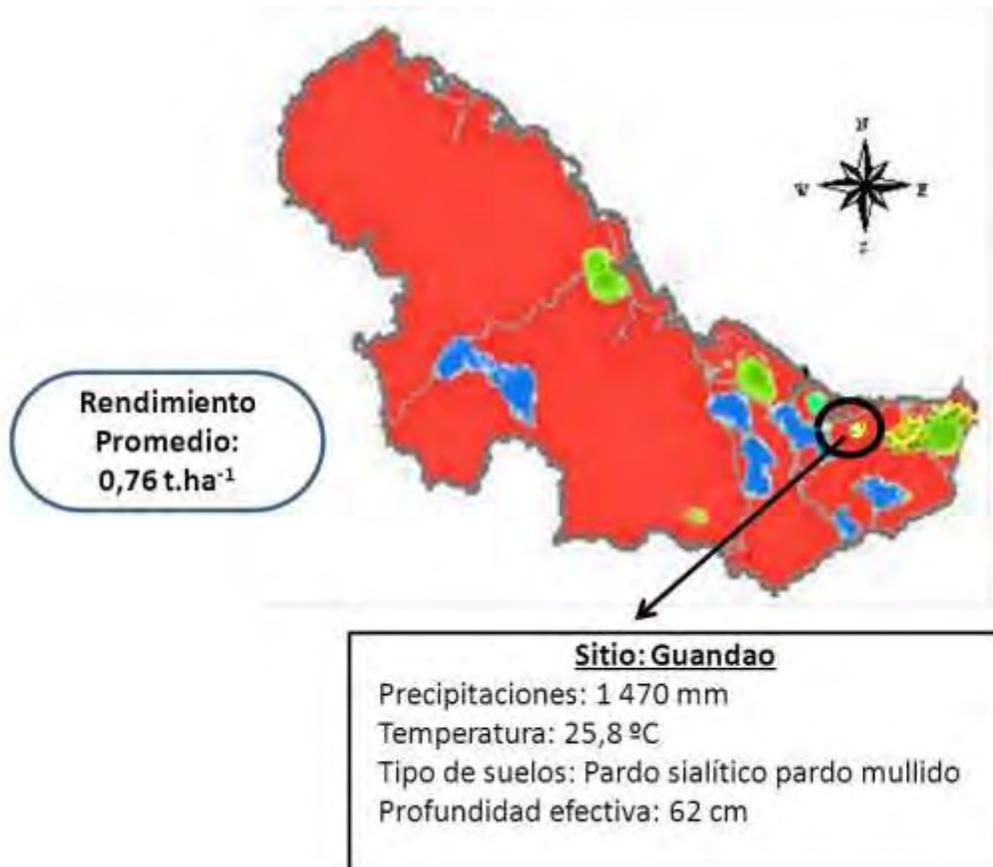


Figura 15. Principales características edafoclimáticas y productivas de “El Guandao”, como sitio de validación de la categoría de zonificación aceptable

Tabla 9. Análisis económico del estudio realizado para el desarrollo de una hectárea de cacao.

Plantaciones en diferentes clases de aptitud	Rend. (t.ha ⁻¹)	Valor de la Prod. (\$.ha ⁻¹)*	Ganancia (\$.ha ⁻¹)*	Beneficio económico (\$.ha ⁻¹)*	Rel B/C
Plantaciones en zonas óptimas	1,89	24 192,00	22 273,70	18 816,00	9,80
Plantaciones en zonas med. óptimas	1,17	14 976,00	13 057,70	9 600,00	5,00
Plantaciones en zonas aceptables	0,76	9 728,00	7 809,70	4 352,00	2,26
Plantaciones de producción actual	0,42	5 376,00	3 457,70	-	-

*Rel. B/C; Relación Beneficio/Costo; *Valores expresados en CUP*

Los resultados alcanzados demuestran los beneficios económicos que pueden alcanzar las empresas cacaoteras de la región, por el ordenamiento y/o el desarrollo del cultivo en zonas que respondan adecuadamente a las exigencias del mismo según la zonificación edafoclimática.

Se demostró, la factibilidad económica de establecer el cacao en superficies con condiciones edafoclimáticas adecuadas para garantizar elevadas producciones en estos agroecosistemas. Sin embargo, se determinaron escasas potencialidades económicas en las plantaciones ya establecidas debido a los bajos rendimientos que se obtienen actualmente, muy por debajo de los potenciales para el cultivo.

Lo anteriormente expuesto sugiere, el establecimiento de un sistema de tomas de decisiones en aquellas plantaciones establecidas actualmente de cacao, en zonas que no responden a ninguna clase de aptitud según la ZEC, y lograr el manejo tecnológico adecuado en las plantaciones desarrolladas en zonas que coinciden con los resultados de la zonificación, con el objetivo de obtener los rendimientos estimados para cada clase de aptitud.

MINAG (2011) significó que bajo las condiciones de Cuba, cuando las plantaciones de cacao producen por debajo de 0,5 t.ha⁻¹, no se logra rentabilidad en la producción. Por ello,

la necesidad del establecimiento del cultivo en zonas adecuadas para incrementar la rentabilidad de dichos agroecosistemas. Sánchez *et al.* (2005) demostró alta rentabilidad de plantaciones de cacao en Venezuela, aplicando adecuadamente la tecnología y en sitios con condiciones óptimas para el cultivo.

El análisis económico de esta investigación, reafirma la decisión del Estado Cubano en financiar los programas de desarrollo cacaotero para el fomento de plantaciones en condiciones edafoclimáticas adecuadas para el desarrollo, crecimiento y producción del cultivo.

Además se confirmó científicamente, la necesidad de establecer un sistema de reordenamiento de la producción de cacao en esta región para lograr sus incrementos en función de disminuir las importaciones y aumentar las exportaciones para el desarrollo económico y social del país.

4.6. Metodología para la zonificación edafoclimática del cacao

A partir de los resultados alcanzados en este trabajo se propone la siguiente metodología para el cultivo del cacao, teniendo en cuenta las limitaciones que poseen las diferentes metodologías utilizadas en el mundo para realizar la zonificación de los cultivos, en las condiciones particulares de los macizos montañosos en Cuba. Además, se consideró que en estos estudios se debe evaluar las condiciones específicas de cada lugar, región o país,

Como primer elemento se deben establecer las bases para la zonificación, para lo cual es efectiva la utilización del criterio de expertos con el objetivo de lograr un consenso entre los especialistas, sobre las variables que determinan la ubicación del cultivo y su correspondiente rendimiento esperado por cada clase de aptitud o categoría de zonificación.

En este contexto, el análisis de las encuestas, mediante la aplicación de la metodología Delphi, logra adecuados resultados a partir de la experiencia acumulada de un grupo de especialistas seleccionados según los aspectos descritos en la metodología.

Otro elemento importante es la caracterización del clima y de los suelos, por ser los factores que determinan el comportamiento de los cultivos en las diferentes regiones donde se desarrollan.

Con respecto a la caracterización climática; es necesario disponer de la información existente de las variables que más influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo: temperatura media anual, la lluvia mensual anual y por los periodos lluvioso y poco lluvioso. Esta información puede ser registrada de las estaciones meteorológicas y de los pluviómetros ubicados en la zona de estudio.

La serie de datos históricos debe abarcar un periodo igual o mayor a los 20 años. En el caso de las temperaturas, la cual tiene como limitante que no siempre existe la suficiente cantidad de estaciones meteorológicas en las regiones bajo estudio, es necesario realizar extrapolaciones teniendo en cuenta los gradientes por altura sobre el nivel del mar que presenta dicha variable.

Para la caracterización de los suelos, se debe realizar un trabajo de campo teniendo en cuenta las normas y principios establecidos en la metodología del Instituto de Suelos para el mapeo y la cartografía de los mismos (Hernández *et al.*, 1995). Para ello se debe aplicar el sistema genético-geográfico comparativo que se fundamenta en los conceptos: formación-procesos de formación-tipos de suelos, siendo necesario estudiar un número suficiente de perfiles que garanticen la representatividad del área de estudio.

Se describen cada uno de los suelos, lo que permite un análisis de interpretación edáfica del conjunto de propiedades y características de los mismos, para determinar los agrupamientos que más respondan a las exigencias del cultivo. Los análisis para caracterizar los suelos de cada región edáfica, desde el punto de vista físico, químico, mineralógico y de la fertilidad, se deben efectuar según el Manual de Técnicas Analíticas del Instituto de Suelos (1994) citada por Hernández *et al.* (1995). Para la clasificación de los suelos se debe emplear la

Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.* 1999). En el caso del cacao, los elementos fundamentales que determinan su comportamiento y que deben utilizarse para la discriminación, son los agrupamientos de suelos y la profundidad efectiva. Con toda la información obtenida se crea una base de datos que contenga todos los atributos de los suelos.

Para el análisis de toda la información tanto de clima como de suelos, se utilizan los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten representar las regiones según los criterios identificados y calcular las superficies de cada zona, para lo cual es necesaria la digitalización de toda la información para la elaboración de los mapas temáticos.

A partir de los criterios de las bases para la zonificación edafoclimática del cultivo, se determinan las zonas climáticas y edáficas, combinando los agrupamientos de suelos, la profundidad efectiva, la temperatura y las precipitaciones que exige cada categoría de zonificación.

A partir de los resultados de las zonas climáticas y edáficas, se procede a la zonificación edafoclimática tomando como elementos las bases definidas anteriormente, utilizando para ello el SIG mediante la superposición de los mapas temáticos, lo cual permite calcular las superficies de cada zona. La escala de los mapas se define según la información disponible y la extensión de la región a estudiar.

Es necesario realizar la validación de los resultados obtenidos en la investigación, y para ello se deben identificar sitios o localidades en cada categoría de zonificación, teniendo en cuenta que en los mismos exista la información necesaria de clima, suelo y rendimientos históricos que permita verificar la validez de los resultados.

V. CONCLUSIONES

1. Se establece las bases para la zonificación edafoclimática del cacao por medio del criterio de expertos, donde se definieron los criterios de mayor influencia para la ubicación del cultivo según sus requerimientos, las cuales fueron: precipitación, temperatura, agrupamientos de suelos y su profundidad efectiva.
2. La caracterización edafoclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, demuestra que existen superficies con adecuadas condiciones de clima y suelos, que satisfacen los requerimientos del cultivo para su desarrollo.
3. El 5,96 % de la superficie total del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, posee condiciones edafoclimáticas adecuadas para obtener rendimientos desde 0,50 t.ha⁻¹ hasta más de 2 t.ha⁻¹ de cacao oro.
4. Se comprueba la validez de la metodología utilizada para la zonificación edafoclimática del cacao y se logra un nuevo aporte al conocimiento para estos estudios en condiciones de montaña.
5. La aplicación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao, permite obtener una relación Beneficio/Costo superior a las que se obtienen en las condiciones actuales de producción.

VI. RECOMENDACIONES

- 1- Utilizar los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao, como herramienta para que los productores, decisores e investigadores, diseñen, elaboren y apliquen el programa de desarrollo cacaotero del macizo Nipe-Sagua-Baracoa, en correspondencia con las necesidades y potencialidades de los agroecosistemas.
- 2- Tener en cuenta la metodología empleada para los estudios de zonificación del cacao en otros macizos montañosos del país.
- 3- Que los resultados de esta investigación se pongan al servicio de estudiantes, profesores e investigadores, a través de las diferentes instituciones del país, como material de consulta y apoyo en la formación pre y posgraduada.
- 4- Incorporar los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que existen en los órganos de montañas, en función de ser utilizados en los procesos de ordenación y regulación en estos agroecosistemas.
- 5- Incorporar los factores sociales a los estudios de zonificación en investigaciones futuras, en correspondencia con la disponibilidad de información y escalas de trabajo, teniendo en cuenta la aplicación adecuada de la tecnología para el cultivo.
- 6- Realizar en el futuro la comparación de los resultados de la zonificación edafoclimática del cacao con el uso de los suelos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACC. 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Mapas de Agroproductividad de los suelos (IX.2.4). Instituto de Geografía e Instituto de Geodesia y Cartografía. La Habana, 75 p.
2. Aceves, L. A.; Juárez, J. F.; Palma, D. J.; López, R.; Rivera, B.; J. Rincón, A. y Román, A. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del Hule (*Hevea brasiliensis*, Muell Arg) en el Estado de Tabasco. Tomo VIII. Tabasco, México: SAGARPA, p. 32-46.
3. Aien, A.; Khetarpal, S. y Pal, M. 2011. Photosynthetic Characteristics of Potato Cultivars Grown under High Temperature. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., vol.11, no.5, p. 633-639.
4. Almeida, A. A. y Valle, R. 2007. Ecophysiology of the cocoa tree. Revista Brazilian Journal of Plant Physiology, vol.19, no. 4, p. 425-448.
5. Allen, G. R.; Pereira, L. S.; Raes, D. y Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO de Riego y Drenaje. No. 56. Roma: FAO, 298 p.
6. Alvim, P. y Reyes, J. 1981. Seminario "Agronomía del cacao". En: CEPEC, Brasil resumen, p. 34-51.
7. Alvim, P. 1977. Cacao. In: Ecophysiology of Tropical Crops. P.T. Alvin and T.T-Kozlowski (ed.) Academic Press. New York. 521 p.
8. Alvim, P. 1984. Influencia de Erithrina sobre algunos factores edáficos relacionados con la producción de cacao. Brasil: CEPEC, no. 54. Informe técnico, 67 p.
9. Andrade, F. 2011. Ecofisiología de cultivos [en línea]. Argentina: elsitioagrícola, 12 Abril 2011 [consultado: 4 Diciembre 2011]. Disponible en: <http://www.elsitioagrícola.com/articulos/andradeña/>
10. Arango, M. A. 2007. 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, 126 p.

11. Astigarraga, E. 2009. El método Delphi. Universidad de Deusto, San Sebastian. España. 225 p.
12. Balasimiha, D; Daniel, E. V. y Bhat, P. G. 1991. Influence of enviromental factors on photosynthesis in cocoa frees”. Revista Agricultural and Forest Meteorology, vol. 55, p. 15-21.
13. Baligar, V. C.; Bunce, J. A.; Machado, R. C. R. y Elson, M. K. 2008. Revista Photosynthetica, vol. 46, no. 2, p. 216-221.
14. Barraza, A. 2007. 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: INED, México, no. 3, Informe utilizado en la investigación, 86 p.
15. Barrera, G. 2006. Respuestas de la clorofila a y la fotosíntesis al déficit hídrico y diferentes condiciones de luz en dos variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.). [Trabajo especial de grado]. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 66 p.
16. Barrios, E. J. y López, C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. Rev. Agrociencia, vol. 43, no. 1, p. 45-49.
17. Batista, L. 2009. Guía técnica. El cultivo del cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 250 p. Consultado [10-2011]. Disponible en :<<http://www.cedaf.org.do>>
18. Benacchio, S. 1984 a. Zonificación agroecológica de cultivos en áreas bajas del trópico húmedo en Venezuela. En: Conferencias. Simposio do Trópico Umido. 2-17 noviembre 1984, Belém, Pará, Brasil, 98 p.
19. Benacchio, S. 1984 b. Zonificación Agroecológica del Cultivo de la Naranja (*Citrus sinensis* L.) en Venezuela. Publicaciones de Fundación INCACA, No. 1. Barquisimeto, De. Boscán C. A., mapas. CENIAP, Agr.-UCV, p. 36.

20. Benavides, G. 1980. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro. Informe técnico. 451 p.
21. Bolstad, P. 2005. GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems. En: Bolstad, P. Eider Press, 2da ed. White Bear Lake, MN. p. 543-598.
22. Braudeau, J. 1970. El Cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. 2da ed. La Habana: Editorial Blume, p. 145-153. ISBN 20-546-2105.
23. Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. 2006. Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. 1ª ed. – Buenos Aires: Lugar Editorial: GEPAMA, ISBN 950-892-264-8, 400 p.
24. Camposeo, S.; Palasciano, M.; Vivaldi, G. y Godini, A. 2011. Effect of increasing climatic water deficit on some leaf and stomatal parameters of wild and cultivated almonds under Mediterranean conditions. Rev. Scientia Horticulturae. no. 127, p. 234-241.
25. Carmona A. y Jairo, M. 2005. Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográficas. Consultado [3-2006]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos/gis/gis.shtml>
26. Carmona, J. 2004. Una revisión de las evidencias de fiabilidad y validez de los cuestionarios de actitudes y ansiedad hacia la estadística. En: Carmona, J.; Kafoussi, S.; Gordon, S.; López, M. V. y Williamson, P. *Statistics Education Research Journal*. 1era ed. Australia: SGRJ, p. 5-28.
27. Casson, S.A. y Hetherington, A.M. 2010. Environmental regulation of stomatal development. Curr. Opin. Rev. Plant Biol. 13, p. 90-95.
28. Castillo, E. 2001. Sistema de información de recursos de tierras para la planificación SIRTPLAN. Proyecto FAO información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible GCP/RLA/126/JPN. Santiago, Chile, 55 p.
29. Celsa B. N.; García, P. A. y Ferrero, A. R. 2005. Intercepción de la radiación y materia seca acumulada en maíz y sorgo en la provincia de Corrientes. [en línea]

Comunicaciones científicas y Tecnológicas [Universidad del Nordeste]. 2005. [Consultado: febrero 2010]. Disponible en:<<http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-023.pdf>

30. Chaves, M. M.; Flexas J. y Pinheiro, C. 2009. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, vol. 103, p. 551-560.
31. Chávez, A. y Mansilla, J. 2004. Manual del cultivo del cacao. Programa para el Ministerio de la Agricultura (PROAMAZONIA). Perú, 2004, p 83.
32. Chen, L.; Zhang, S.; Zhao, H.; Korpelainen, H.; Li, Ch. 2010. Sex-related adaptive responses to interaction of drought and salinity in *Populus yunnanensis*. *Plant, Cell and Environment*, vol. 33, p. 1767-1778.
33. Cheng, Sh.; Yu, Zh.; Na, L.; En, Y. y Gang, X. 2008. Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper. *Rev. Scientia Horticulturae*, no.119, p.11-16.
34. Clarke, C. 1995. "Analytical and Computer Cartography". Prentice Hall Series in Geographic Information Science. Second Edition. New Jersey, USA, 154 p.
35. Copolovici, L. y Niinemets, Ü. 2010. Flooding induced emissions of volatile signaling compounds in three tree species with differing waterlogging tolerance. *Rev. Plant, Cell and Environment*, 33, p.1582–1594.
36. Córdova, V.; Sánchez, M.; Estrella, N.; Macias, A.; Sandobal, E.; Martínez, T. y Ortiz, C. F. 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao*, Lin), en el Ejido Francisco I. Madero del plan Chontalpa, Tabasco, México. *Revista Universidad y Ciencia*, vol.14, no. 34, p. 93 – 100.
37. Cruz, D. M.; Gómez, R. A. y Cordovéz, A. 2007. Clasificación climática de Köppen. Orientaciones para su estudio [en línea]. Cuba: Universidad Pedagógica de Holguín,

2 marzo 2007. [Consultado: 22 de abril 2009]. Educación Superior. Disponible en:
<<http://www.ilustrados.com/>>

38. Cruz, O.; Marrero, P.; Herrera, M. y García, L. 2005. Selección de textos sobre ecología. Colectivo de autores. Ed. Felix Verela, ISBN 959-259-880-5. Ciudad de la Habana, Cuba. 189 p.
39. Daymond, A. y Hadley, P. 2004. The effect of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*, Lin.). Revista Annual Applied Biology, vol. 145, p. 257-262.
40. De armas, R.; Ortega, E. y Rodés, R. 1988. Fisiología Vegetal. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 325 p.
41. Dell'Amico, J; Miguel, M.; Domingo, R.; Pérez, A.; García, M.; Peñalver, M.; Villanueva, F. y Puerto, P. 2012. Efecto del estrés hídrico en el desarrollo final del fruto de mandarina „fortune“. Cultivos Tropicales, vol. 33, no. 3, p. 63-68.
42. Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. 1990. Mapa genético de suelos de Cuba, escala 1:25 000. Ministerio de Agricultura, La Habana. 68 p.
43. Durán, N. y Torres, M. 2001. Metodología utilizada para la elaboración de una zonificación agroecológica y una tipología de productores en el cantón de Grecia: Un ejemplo del empleo integrado de fuentes cartográficas y censales en la historia agraria costarricense. Universidad de Costa Rica. Cuadernos digitales: Publicación electrónica en historia, archivística y estudios sociales, no.12, junio del 2001, p. 23 - 29.
44. Durán, O. 2002. Las montañas de Cuba. 2da ed. La Habana. Ed. Rev. 2002, p. 45. ISBN 7167-01-8, 959
45. Ehlert, C.; Maurel, C.; Tardieu, F. y Simonneau, T. 2009. Aquaporin-mediated reduction in maize root hydraulic conductivity impacts cell turgor and leaf elongation even without changing transpiration. Plant Physiology, 150, p. 1093–1104
46. Enríquez, G. 2001. Manual del Cacao para agricultores. Editorial UNED, México, 2001, 59p. Consultado [16 octubre 2011]. Disponible en :<<http://www.iica.gov.ar>>

47. Espinal, C. F.; Martínez, H.; Beltrán, L. S. y Ortiz, L. 2005. La cadena del cacao en Colombia. Una mirada global de su estructura dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas, Colombia. Dic., 2005. Documento de trabajo no. 2. Disponible en: www.agrocadenas.gov.co.
48. Espinosa, J. y Orquera, A. 2007. Zonificación agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en las provincias de: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua. Revista Rumipamba, vol. 21, no. 1, p. 54 - 56.
49. FAO, 1981. Informe del Proyecto de Zonas Agroecológicas. vol. 3. Metodología y Resultados para América del Sur y Central. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos. 48 / 3.
50. FAO. 1974. Soil Map of the World. vol 1. Legend. Paris, Unesco. Roma, p. 78-91
51. FAO. 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32, Rome, Italia.
52. FAO. 1978. Report on the Agro-ecological zones project. World Soil Resources Report 48, vol. 1. Methodology and results for Africa. Rome: FAO XI, 158 p.
53. FAO. 1983. Guidelines: land evaluation for rainfed agricultura. FAO Soils Bulletin 52. Rome, Italia.
54. FAO. 1996. Adaptación de la metodología de zonificación agroecológica de la FAO para aplicaciones a diferentes niveles de zonificación en países de América Latina y el Caribe. En: Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agroecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe Santiago – Chile, Octubre, p. 20-35.
55. FAO. 1997. Boletín de suelos de la FAO no. 73. Zonificación agroecológica. Guía general. Servicio de recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas, FAO, Roma, Italia, 154 p.
56. FAO. 2006 a. Evaluación de tierras con metodología de FAO. Proyecto regional: "ordenamiento territorial rural sostenible". 1era ed. proyecto gcp/rla/139/jpn, Santiago de Chile, abril 2006, 26 p.

57. FAO. 2006 b. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje, 56. Roma. 202 p.
58. Franco, J. A. y Rodríguez, M. 2006. Evaluación económica cualitativa, mediante el método Delphi, de indicadores de calidad del suelo olivarero granadino afectado por problemas de erosión. En: IX Encuentro de economía aplicada, Jaén 8-10 de junio de 2006. Área de Economía y Sociología Agrarias. Centro de Investigación y Formación Agraria de Granada. España. p. 43-49.
59. Funes, F. 2007. Agroecología, Agricultura Orgánica y Sostenibilidad. La Habana. ACTAF, 56 p.
60. Gandolfo, S. P. 2008. Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate. [Tesis doctorado]. Universidad Politécnica de Valencia, España, 211 p.
61. García, A. 2007. Propuesta de indicadores de resultado, primera etapa para la medición de la eficiencia del policlínico. Revista Cubana Higiene y Epidemiología, vol. 45, no. 2, p. 58-62.
62. García, I.; Jiménez, J. A.; Martínez, G.; Romero, R.; Durán, V. H. y Muriel, J. L. 2010. Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. salustiano]. Rev. Agricultural Water Management, 97, p. 614–622.
63. García, J.; Araque, R.; Soto, E.; Sanabria, O. y Avilán, J. 2006. Zonificación ecológica de cultivos: I marco de referencia biofísico. Revista Agronomía Tropical, vol. 25, no. 5, p. 451-485.
64. García, J.; Romero, M. y Astrid, L. 2005. Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo Colombiano para el cultivo del cacao. CORPOICA, 75p. Consultado [4 de octubre del 2011]. Disponible en: <<http://www.huila.gov.co>>

65. García, P.; Cabrera, S.; Sanchez, J. y A. Pérez. 2009. Rendimiento del maíz y las épocas de siembra en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Rev. Agronomía Tropical*, vol. 59 no.2, p. 23-29.
66. Garea, E. 2003. Perfeccionamiento del manejo de la información de suelos en las regiones montañosas de Cuba mediante técnicas digitales. [Tesis de doctorado]. Instituto Técnico Militar “José Martí” y Grupo Empresarial GEOCUBA. La Habana, 123 p.
67. Garea, E.; Soto, F. y Vantour, A. 2008. Zonificación agroecológica en condiciones de montaña mediante métodos de análisis espacial. *Mapping interactivo, Revista internacional de ciencias de la tierra*. ISSN: 1.131-9.100, Julio, p. 12 - 18.
68. Garea, E. 2004. Un Nuevo método para la determinación espacial de procesos degradativos en los suelos. *Proceedings of International Workshop*. En: IV Congreso Internacional de Geomática, CD ISBN 959-237-117-2, p. 34-38.
69. Gikuchi, F. N. 1994. *Computer Simulation Models as Management Tools for Sustainable Use of Natural Resources in Highland-lowland Systems*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, A.C.T. (Australia). *Revista ACIAR proceedings*, vol. 54, ISBN 1-86320-122-X, p. 26-31.
70. Gliessman, S. R.; Rosado-May, F. J.; Guadarrama-Zugasti, C.; Jedlicka, J.; Cohn, A.; Mendez, V. E.; Cohen, R.; Trujillo, L.; Bacon, C.; Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas*, no. 1, 67 p.
71. Gómez, A. 2003. Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo Guasare. *Revista ECOTROPICOS*, vol.16, no. 1, p. 41
72. Gómez, A. y Azócar, A. 2002. Áreas potenciales para el desarrollo del cacao en el estado de Mérida. *Revista Agronomía Tropical*, vol. 52, no. 4, p. 403-425.
73. Gonzáles, F. S. 2007. *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>.

74. González, H. 1999. Zonificación Agroecológica de la especie *Coffea arabica* L. con el empleo de un SIG en un sector del grupo Guamuhaya. [Tesis de grado]. Instituto de Ecología y Sistemática. CITMA, Cuba, 72 p.
75. González, H. 2009. Zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, Lin en un sector del grupo orográfico de Guamuhaya, Cuba, utilizando los SIG. Mappig interactivo, Revista internacional de ciencias de la tierra. ISSN: 1.131-9.100, marzo, p. 21 - 29.
76. Google Earth. 2008. Programa Googleearth.exe. Consultado [6-2009]. Disponible en: <<http://earth.google.es/showcase/>>
77. Guimet, J.; Ros, A. y Sanz, L. 1991. Los sistemas de información para la gestión territorial Manual del Alcalde. 1era ed. Madrid, España, ASERLOCAL, 83 p. ISBN: 84-8611119-8.
78. Harvey, F. 2008. Primer of GIS: Fundamental geographic and cartographic concepts. 1era ed. New York, NY: The Guilford Press, p. 310. ISBN-10: 1-59385-565-6.
79. Hassan, F.; Tardieu, F. y Turc, O. 2008. Drought-induced changes in anthesis-silking interval are related to silk expansion: a spatio-temporal growth analysis in maize plants subjected to soil water deficit. *Plant, Cell and Environment*. 31, p.1349–1360.
80. Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Morales, M.; Bojórquez, J. I. y García, N. E. 2005. Fundamentos sobre la formación del suelo, los cambios globales y su manejo. Universidad Autónoma de Nayarit, México. Compilación, 171 p.
81. Hernández, A.; Ascanio, M. O.; Morales, M.; Bojórquez, J. I.; García, N. E. y García, J. 2006. El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), México y el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba, noviembre de 2006. 171 p.
82. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Paneque, J.; Fuentes, E. y Bosch, D. 1995. Metodologías para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. Ministerio de la Agricultura de Cuba. La Habana, 58 p.

83. Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D. y Rivero, L. 1999. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana, AGRINFOR, 64 p.
84. Hernández, A.; Vantour, A.; Morales M.; Soto, F.; Garea, E. y Baisre, J. 2004. Características de los suelos del macizo montañoso Nipe Sagua Baracoa. I- Suelos Alíticos, Ferríticos y Ferralíticos. Rev. Cultivos Tropicales, vol. 25, no. 1, p. 45 - 53.
85. Hernández, C. 1987. Ecología del cacao. Factores climáticos. Luz. Ed. Revolucionaria, La Habana, 238 p.
86. Herrera, M. 2001. Contribución metodológica a la zonificación agroclimática de la caña de azúcar. Caracterización agroclimática de las áreas cañeras de la provincia Habana. [Tesis doctorado], La Habana, UAH, Cuba, 99 p.
87. ICCO. 2006. Informe anual 2006/2007. Factores que afectaron la producción mundial de cacao. Consultado 24/7/2008. Disponible en: http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/1-annual-report/25-icco-annual-report-in-spanish.html
88. ICCO. 2007. Informe anual 2007/2008. Consumo mundial de cacao. Consultado 24-7-2008. Disponible en: http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/1-annual-report/25-icco-annual-report-in-spanish.html
89. ICCO. 2010. Informe anual 2010/2011. Superficie mundial de cacao. Consultado [12-3-2011]. Disponible en: http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/1-annual-report/25-icco-annual-report-in-spanish.html
90. ICCO. 2012. Producción mundial de cacao. Informe sobre la producción anual de cacao 2011/2012. Consultado 24/3/2013. Disponible en: http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/1-annual-report/25-icco-annual-report-in-spanish.html

91. ICCO. 2013. Precio anual de cacao. Consultado 24/7/2008. Disponible en: http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/1-annual-report/25-icco-annual-report-in-spanish.html
92. Inzunza, M. A., M. M. Villa, Catalán, E. A. y Mendoza, F. 2006. Zonificación agroecológica del maíz, frijol, trigo y sorgo en la Región Lagunera. *Revista Agrofaz*, vol. 6, no. 2, p. 189-196.
93. IPCC. 2007 a. Climate change and its impacts in the near and long term under different scenarios. In: Core Writing Team; Pachauri RK, Reisinger A (eds) *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, Switzerland, p. 44-54.
94. IPCC. 2007 b. Observed changes in climate and their effects. In: Core Writing Team; Pachauri RK, Reisinger A (eds) *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, Switzerland, p. 30-33
95. IUSS, Working Group WRB. 2008. Base referencial mundial del recurso suelo. *Informes sobre recursos mundiales de suelos 103*. Roma. FAO, 117 p.
96. Jackson, M. B, Ishizawa K. y Ito, O. 2009. Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. *Annals of Botany*, 103, p. 137-142.
97. Jaimes, E. y Mendoza, J. 2004. Evaluación física de tierras para cuatro sistemas agroforestales en los sectores Piedra Azul y la Ciénaga, estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 45, no. 1, p. 125-132.
98. Jaimez, R. E.; Tezara, W.; Coronel, I.; y Urich, R. 2008. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao* L.): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencia para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forest.Venez*, vol. 52, no. 2, p. 253 - 258.
99. Jairo, G. 2005. Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo Colombiano para el cultivo de cacao. Documento presentado como parte de los resultados finales del

proyecto: “Mejoramiento genético y caracterización de las condiciones de competitividad del cultivo de cacao en Colombia”. Componente: caracterización y zonificación de áreas potenciales para el cultivo de cacao en Colombia. Convenio Corpoica-Minagricultura n° 034/2003, Consultado [25-11-2011]. Disponible en: <<http://www.corpoica.co/>>

100. Kassan, A. H.; Velthuisen, V.; Fisher, y Shah, M. M. 1991. Agroecological land resources assesment for agricultural development planning: A case study of Kenia; Resources database and land productivity. Vol. Main Report & Vienna: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Institute for Applied Systems Analaysis (IIASA), XI, 196 p.
101. Keeney, S. y McKenna, F. 2006. Consulting the oracle: ten lessons from using the Delphi technique in nursing research. *Jadv Nurs*, vol. 53, no. 2, 205 p.
102. Konow, I. 2008. 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](http://www.Avizora.com)
103. Kubien, D. y Safe, R. 2008. The temperature response of photosynthesis in tobacco with reduced amounts of Rubisco. *Plant, Cell and Environment*, no. 31, p. 407-418
104. Landa, M. T. 2001. Zonificación Agroecológica y Estudio de Comercio Regional de Guanábana (*Annona muricata* L.) en un Sector de la Zona Centro del Estado de Veracruz. [Tesis de Maestría]. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, 98 p.
105. Leal, F.; Avilán, L. y Valderrama, E. 1999. Áreas potenciales para el desarrollo del cacao en Venezuela. *Revista AGROALIMENTARIA*, no. 8, Junio, p. 7-12.
106. Liu, F.; Jensen, C. R.; Shahanzari, A.; Andersen, M. N. y Jacobsen, M. N. 2007. ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant Sci.*, vol. 168, no. 3, p. 831-836.

107. Llach, L.; Villegas, O.; Martínez, P. L. y Solano, O. M. 2007. Caracterización de la Agrocadena Cacao. Informe ejecutivo; Dirección Regional Huetar Norte, Costa Rica. Marzo, 2007. Consultado [11-2009]. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Disponible en: < <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a000083.pdf> >
108. Lobato, A. K. S.; Santos Filho, B. G.; Costa, R. C. L.; Oliveira-Neto, C. F.; Meirelles, A. C. S; Cruz, F. J. R.; Alves, G. A. R.; Neves, H. K. B.; Pita, J. D.; Lopes, M. J. S.; Freitas, J. M. N.; Monteiro, B. S. y Ferreira Ramos, R. 2008. Physiological and biochemical changes in soybean (*Glicine max*) plants under progressive water deficit during the vegetative phase. *Agricultural Journal*, vol. 3, no. 5, p. 327-333.
109. Lozano, J.; Romero, M. y Astrid, L. 2005. Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico húmedo Colombiano para el cultivo del cacao. CORPOICA, Centro de Investigación Tabaitatá, Mosquera, Colombia. [Consultado: 18 de Agosto de 2007]. Disponible en: www.huila.gov.co/ZONIFICACION%20CACAO%20PARTE%20I%20
110. Macedo, C.; Delgado, E. y Marín, F. 2009. Zoneamento agrícola de riscos climáticos da laranja no Estado de São Paulo. En: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorología. 22-25 de setembro 2009, Belo Horizonte, Brazil. Eventos e Convenções, GranDarrell Minas Hotel, p. 4-13.
111. Márquez, J. 1998. Cacao. Noti Cortas. Publicación interna del MINAG, La Habana, Cuba. Enero, 21 p.
112. Márquez, J. 1999. Cacao. Noti Cortas, MINAG, La Habana, Cuba. Septiembre, 18 p.
113. Márquez, J. 2004. Cosecha y beneficio del cacao. MINAG, Cuba. 65 p.
114. Márquez, J. 2006. Consulta personal. Instituto de Investigaciones Forestales (IIF). La Habana, Cuba.
115. Martínez, F. y Rodríguez, E. 2006. Evaluación económica cualitativa, mediante el método Delphi, de indicadores de calidad del suelo olivarero granadino afectado por problemas de erosión. En: IX Encuentro de economía aplicada. Jaén 8-10 de junio de

- 2006, Granada, España: Centro de Investigación y Formación Agraria de Granada, p. 22-31.
116. Martínez, J. L.; Tijerina, L.; Arteaga, R.; Vázquez, M. A. y Becerril, E. 2007. Determinación de zonas agroclimáticas para la producción de mango (*Mangifera indica* L. "manila") en Veracruz, México. SciELO, no. 63, Ago., ISSN 0188-4611.
117. Mcfadden, C. 2008. Historia del chocolate. El chocolate como medicina [en línea]. Avizora: Publicaciones, 2008 [Consultado: 25 de Noviembre 2012]. Disponible: http://www.avizora.com/publicaciones/gastronomia/textos/0038_historia_chocolate.htm
118. Mejía, L. A. 2005. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Aspectos ecofisiológicos relacionados con el cultivo del cacao. [Consultado: 1 de junio 2005]. Disponible en: http://www.turipana.or.g.co/producción_cacao.htm.
119. Menéndez, M. 2013. Consulta personal. Estación de Investigaciones de Cacao en Baracoa (EICB). Instituto Agroforestal. MINAG, Guantánamo, Cuba.
120. Merma y Julca. 2012. Descripción del medio y bases de zonificación del alto Urubamba, Cusco, Perú. Rev. Ecología Aplicada, vol. 11, no. 1, p. 20-28.
121. MFP. 2010. Precios. Resolución 14/2010 del Ministerio de Finanzas y Precios. Lista Oficial. Precios de acopio en pesos cubanos. Cacao oro. 12 p.
122. Michel, I. 2007. 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, Santiago de Cuba, Cuba. 113 p.
123. MINAG. 1987. Instrucciones Técnicas para el cultivo del café y el cacao. Dirección Nacional de Café y Cacao. CIDA, La Habana, 208 p.
124. MINAG. 2011. Diagnóstico realizado a la actividad de cacao en la provincia de Guantánamo. Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM), Diciembre 2011. Informe utilizado en investigación, 41 p.

125. MINAG. 2012. Situación de la producción y financiamiento para el cacao en Cuba. Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM). La Habana. Noviembre 2012, Informe de producción. Documento interno, 67 p.
126. Montenegro, U. 1991. Procedimiento metodológico para la ejecución del resultado: "Caracterización climática de las montañas Cubanas." Santiago de Cuba. Instituto de Meteorología. Diciembre. Informe utilizado en la investigación. 25 p.
127. Morales, D. 1986. Influencia de la humedad del suelo y diferentes condiciones de aviveramiento del *Coffea arabica* L. [Tesis de doctorado]. INCA, MES, Cuba, 152 p.
128. Moreno, J. 2004. Zonificación Agroecológica de la Cuenca Baja Río Guayas. Ecuador, [Consultado: 18 de Agosto de 2005]. Disponible en: <http://www.clirsen.com/index.php/>
129. Mota, D. M.; Brandao, R.; Vieira, P. R.; Meyer, G. y Pereira, J. 2008. Zoneamento agrossocioeconômico participativo no Alto Moju-pa. Revista Agrotrópica, vol. 20, p. 35 - 44.
130. Nickum, M.; Crane, J.; Schaffer, B. y Davies, F. 2010. Responses of mamey sapote (*Pouteria sapota*) trees to continuous and cyclical flooding in calcareous soil. Rev. Scientia Horticulturae, no. 123, p. 402-411.
131. Oficina Nacional de Estadística (ONE). 2012. Superficie cosechada y en producción de los cultivos seleccionados en la agricultura no cañera y rendimiento agrícola por cultivos seleccionados en la agricultura no cañera. Datos de la producción nacional agropecuaria. Informe Nacional. Oficina Nacional de Estadísticas. Cuba.
132. OMM. 1991. Manual de Prácticas Climatológicas. Ginebra, Suiza, 297 p.
133. OMM. 2007. Guide to the global observing system WMO, no. 488. Geneve: WMO, Suiza, 397 p.
134. Orlay, R y Martín, G. 1999. Sistemas de información geográficas para el manejo de las regiones especiales de desarrollo sostenible de la República de Cuba (macizos nipe

Sagua Baracoa, Sierra Maestra, Guamuhaya y Guaniguanico), CITMA- GEOCUBA, PNCT: Desarrollo Sostenible de la Montaña, 53 p.

135. Osan, O. E.; Ramírez, E. P. 2006. Los sistemas de producción de leche argentinos: una propuesta de tipificación mediante técnica de análisis multivariado. [Tesis de maestría]. Asociación Argentina de Economía Agraria, Pontificia Universidad Católica de Chile, 123 p.
136. Paredes, M. 2004. Manual del cultivo del cacao. Programa para el desarrollo de la Amazonia (Proamazonia). Perú. 2004, En: <http://es.scribd.com/doc/36759998/8/Requerimiento> de suelos para el cultivo del cacao. Consultado: 12/12/12.
137. Parra, G. 2005. Origen del cacao en Venezuela. En: Resumen I Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. Área: Zonificación y Agroecología, 13 - 17 marzo 2005, Caracas, Venezuela, 255 p.
138. Pereira, D. J. 1994. Algunos Aspectos de los Métodos de Valoración de los Recursos naturales en Relación con la Definición de Alternativas en Proyectos de Transformación en Regadío. En: National Symposium on Present and Future of Spanish Irrigated Lands. España, vol. 20, 136 p.
139. Pereira, G.; Villalobos, V.; Rondón, O.; Chacón, I.; Jaimez, R. y Tezara. W. 2007. Intercambio gaseoso en diferentes cultivares de cacao. En: XVII Congreso de Botánica de Venezuela. Maracaibo, mayo 21-25. Maracaibo, Venezuela, p. 143.
140. Pereyra, G. 2007. Eficiencia de uso de Agua en diferentes cultivares de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao*, L.) en Venezuela. [Trabajo especial de grado]. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 64 p.
141. Pérez, A. 2011. Fertilización y requerimientos de nitrógeno para plantaciones de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner var. Robusta cultivada en suelos Pardos de la región oriental premontañosa de Cuba [Tesis de doctorado]. INCA y Universidad de Guantánamo, Cuba, 141 p.

142. Pérez, E y Geissert, D. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: El caso café (*Coffea arabica* L.) - palma camedor (*Chamaedorea elegans* mart.). Revista INCI, vol. 3, no. 8, p. 32-35.
143. Pérez, T. 2011. Propuesta metodológica para el análisis de la seguridad alimentaria a nivel local en Cuba. experiencia en el municipio San José de las Lajas [Tesis de doctorado]. UNAH, MES, Cuba, 100 p.
144. Pezeshki S.R. 2001. Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany*. 66, p. 299-312.
145. Pineda, L. A. 2011. Zonificación agroecológica participativa del territorio de doce comunidades vinculadas con la cooperativa Cochapamba, Cantón Ibarra, provincia de Imbabura. [Tesis de Maestría]. Universidad Técnica del Norte. Ecuador. 67 p.
146. Planas, A.; Figueroa, A.; Fuentes, P.; Vázquez, R.; Burgos, T. y Pérez, E. 2010. Caracterización agroclimática del macizo montañoso Nipe Sagua Baracoa [en línea]. Cuba: ISMET, diciembre 2010. Consultado [10-2012]. CITMA. Disponible en: <http://www.cbmet.com/cbm-files/12-757fbc0d3ba04b80a4e5e51ea6c>, p. 475 - 472
147. Puebla. A.; Aceves, L. A.; Ortiz, C. A.; Arteaga, R. y Villalpando, O. K. 1991. Zonificación agroecológica para el cacao (*Theobroma cacao*, L), en Tabasco. *Revista Agrociencia*, serie Agua-suelo-clima, vol.2, no. 4, p. 89-106.
148. Quiroz, J. y Mestanza, S. 2012. Establecimiento y manejo de una plantación de cacao. Condiciones ambientales y requerimientos agroclimáticos. Programa nacional del cacao. Estación experimental litoral del sur. Ecuador. Boletín técnico no. 146, 12 p.
149. Rada, F.; Jaimez, R.; García, C.; Azocar, A. y Ramírez, M. 2005. Water relations in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficits. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, vol. 22, no. 2, p. 112-120.
150. Ramalan, A. A.; Nega, H. y Oyebode, M. A., 2010. Effect of deficit irrigation and mulch on water use and yield of drip irrigated onions. *WIT Trans. Ecol. Environ.* 134, p. 39-50.

151. Ramos, G y Gómez, A. 2004. Carácter Morfológicos determinantes en el cacao (*Theobroma cacao* L.), del Occidente Venezolano. Revista Agronomía Tropical, vol. 54, no. 1, p. 45-62.
152. Ramos, G.; Ramos, P. y Azócar, A. 2000. Manual del productor de cacao. FUNDACITE, Mérida, Venezuela, ISBN: 980-318-021-5, 87 p.
153. Ravelo, A. C. y A. Planchuelo, M. 2003. Aptitud agroecológica de la pradera pampeana Argentina para el cultivo del lupino blanco (*Lupinus albus*, L). Revista Agriscientia, vol. XX, p. 33 – 45.
154. Reddy, S. J. 1994. Agroclimatic Analysis on Crop Production Potentials of the Semiarid Areas. Thesis Ph. D. Development of technologies for the Dryland Farming Areas of Ethiopia. Proc. of the First National Workshop of Dryland Farming Research in Ethiopia, 87 p.
155. Revilla, G y Zarra, I. 2000. La Fisiología vegetal y su impacto social. La célula vegetal. En: Azcón-Bieto y M. Talón. Fundamentos de Fisiología Vegetal 1era ed. España: Edicions Universitat de Barcelona, p.1 – 6.
156. Rivera, R. R. 1994. Zonificación del estado de Zacateca en base a Índices de disponibilidad de Humedad. Univ. Auton. de Chapingo, México. Dpto. de Suelos, no.49, p. 67.
157. Rivera, B.; Aceves-Navarro, L. A.; Juárez-López, J. F.; Palma-López, D. J.; González-Mancillas, R. y González-Jiménez, V. 2012. Zonificación agroecológica y estimación del rendimiento potencial del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, México. Avances en Investigación Agropecuaria (A IA), vol. 16, no.1, p. 29-47. ISSN 0188789-0.
158. Rodríguez, A. 2006. Estudio de las condiciones climáticas de la localidad de Banao para la recomendación y establecimiento de cultivares de vid (*Vitis vinifera*. L). [Tesis de Maestría]. US, MES, Cuba, 73 p.

159. Rodríguez, E. 2002. Identification of producer zones for cacao, test varieties and land in the department of Putumayo, Perú. Colombia Alternative Development Projec. Fundación Chemonics-Colombia. 47 p.
160. Rodríguez, J. M.; Aldana, L. y Villalobos, N. 2010. Método Delphi para la identificación de prioridades de ciencia e innovación tecnológica. Revista Cubana de Medicina Militar, vol.39, no. 3-4, ISSN 1561-3046.
161. Rodríguez, S.; Torres, W.; Ortega, E.; Rodés, R.; Dell'ámico, J. M.; Meneses, S.; Jerez, E. y López, G. 2007. Efecto del estrés por sobrehumedecimiento del suelo en la dinámica del índice de área foliar en Caña de azúcar (*Sccharum spp.* híbr.). Cultivos Tropicales, vol. 28, no. 4, p. 33-40.
162. Rojas, O. E. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en Costa Rica. Rev. Promecafe, no.1, vol 4, 83 p.
163. Rubio, G. y Gutiérrez, H. 1997. Los Sistemas de Información Geográficos: origen y perspectivas. Revista General de Información y Documentación. Servicio de Publicaciones Universidad Complutense. Madrid, vol. 7, no. 1, p. 23 – 31.
164. Sam, O.; Sánchez, P.; Coronado, M. y Risueño, M. 2006. Influencia de la alta temperatura en los tejidos radiculares de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.). Cultivos Tropicales, vol. 27, no. 4, p. 39-42.
165. Sánchez, L. E.; Parra, D.; Gamboa, E. y Rincón, J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. Revista Bioagro, vol. 17, no. 2, p. 119-122.
166. Santos, M.G.; Ribeiro, R. V.; Machado, E. C. y Pimentel, C. 2009. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common bean genotypes under mild water déficit. *Biologia plantarum*, vol. 53, no. 2, p. 229-236.
167. Scott, G. 2001. Strategic planning for high-tech product development. Revista Technology Analysis and Strategic Management, vol.13, no.3, p. 45-62.

168. Selva, F.; Columbié, A.; Sánchez, E.; Martínez, F.; González, J. A.; Márquez, J. J.; Lambert, W. y Menéndez, M. 2004. Estudio prospectivo de la cadena productiva del cacao en Cuba. Estación de Investigaciones del Cacao en Baracoa. Cuba. Informe final de proyecto. 42 p.
169. Serrano, F. M. 2006. El cacao en sus primeros pasos hacia la globalización. En: I Congreso nacional ANPE. 8-9 noviembre/2006, p. 8-9. Consultado [5-2012]. Noruega. Disponible en: <http://www.mecd.gob.es/dctm/redele/Material-RedEle.....> html.
170. Silva, S. C.; Da, Assad, E. D.; Lobato, E. J. V.; Sano, E. E.; Steinmetz, S.; Bezerra, H.; Da S., Cunha, M. A. C.; Da, Silva, F. A. M. 1994. Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás. Brasília, Brasil, DF: EMBRAPA-SPI. Documentos no. 43, 80 p.
171. Solano, O. 2013. Consulta personal. Instituto Nacional de Meteorología (INSMET). CITMA, La Habana Cuba.
172. Solano, O. Menéndez, R. Vázquez y J.A. Menéndez. 2004: “Zonificación del período de crecimiento de la vegetación en Cuba para un año normal”. Revista Cubana de Meteorología. Instituto de Meteorología. Vol. 11 / No. 1, p. 19 – 25.
173. Solano, O.; Menéndez, C.; Vázquez, R. y Menéndez, J. A. 2003 a. Zonificación de la precipitación en Cuba. Revista Cubana de Meteorología, vol. 10, no. 2, p. 9 – 19.
174. Solano, O.; Menéndez, C.; Vázquez, R. y Menéndez, J.A.. 2003 b: Zonificación de las fechas de inicio de las siembras de cultivos agrícolas en Cuba, para un año seco. Revista Cubana de Meteorología. Instituto de Meteorología. Vol. 10 / No. 1 / p. 67 – 73.
175. Solano, O.; Menéndez, C.; Vázquez, R. y Menéndez, J.A. 2003 c: Zonificación de la precipitación en Cuba. Revista Cubana de Meteorología. Instituto de Meteorología. Vol. 10 / No. 2 / p. 9 – 19.
176. Solano, O.; Menéndez, C.; Vázquez, R. y Menéndez, J.A. 2003 d: “Zonificación de las reservas de humedad del suelo disponibles para los cultivos”. Revista Cubana de Meteorología. Instituto de Meteorología. Vol. 10 / No. 2, p. 71 – 79.

177. Soto, F.; Hernández, A.; Vantour, A.; Morales, M.; Lopetegui C. M.; Hernández, O.; Garea, E.; Morales, D.; Leyva, A.; Bertolí, M.; Moreno, I.; Ramirez, A.; Renda, A. y Pérez, A. 2007. Zonificación agroecológica de la cordillera de Guaniguanico. Rev. Cultivos tropicales, vol. 28, no. 1, p. 41- 55.
178. Soto, F.; Plana, R. y Hernández, N. 2009. Relación de la duración de diferentes fases fenológicas del trigo harinero (*Triticum aestivum ssp. aestivum*) y el triticale (*X Triticum secale* Wittmack) con el rendimiento. Cultivos Tropicales vol. 30, no. 3, p. 32-36.
179. Soto, F.; Vantour, A.; Hernández, A.; Planas, A.; Figueroa, A.; Fuentes, P. O; Tejeda, T.; Morales, M.; Vázquez, R.; Zamora, E.; Alfonso, H. M.; Vázquez, L. y Caro, P. 2001 a. La zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, L. en Cuba. Macizo montañoso Sagua – Nipe – Baracoa. Cultivos Tropicales, vol. 22, no. 3, p. 27-51.
180. Soto, F.; Tejeda, T.; Hernández, A. y Florido, R. 2001 b. Metodología para la Zonificación agroecológica de *Coffea arabica*, L. en Cuba. Rev. Cultivos Tropicales, vol. 22, no. 4, p. 51 - 53.
181. Soto, F.; Vantour, A.; Hernández, A.; Planas, A.; Figueroa, A.; Fuentes, P.O; Tejeda, T.; Morales, M.; Vázquez, R.; Zamora, E.; Cutié, F.; Vázquez, L. y Caro, P. 2002. La Zonificación agroecológica del *Coffea arabica*, L. en Cuba. Macizos montañosos Sierra Maestra y Guamuhaya. Rev. Cultivos Tropicales, vol. 23, no. 1, p. 35 – 44.
182. Tadeo, F. R. y A. Gómez-Cádenas. 2008. Fisiología de las plantas y el estrés. En: Azcon-Bieto J. y M. Talón (eds). *Fundamentos de fisiología Vegetal*. 2da ed. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana, p. 577-598.
183. Tezara, W.; Urich, R.; Marín, O.; Jaimez, R. y Chacón, I. 2009. Plasticidad ecofisiológica de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes ambientes de Venezuela. III CLAE e IXCEB, 10 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG.

184. Tijerina, L.; Ortiz, C.; Pájaro, D.; Ojeda, T. E.; Aceves, L. y Villalpando, O. 1990. Manual de la Metodología para Evaluar la Aptitud de las Tierras para la Producción de los Cultivos Básicos, en Condiciones de Temporal. Colegio de Postgraduados. Programas de Agrometeorología. SARH. Montecillo, México. 113 p.
185. Torres, E. 2008. Metodología para definir funciones profesionales. Revista Cubana Salud Pública, vol. 34, no. 4, p. 17-23.
186. Trujillo, C.; Cuesta, E.; Díaz, I.; Pérez, R. 2007. Economía Agrícola para las carreras de Agronomía e Ingeniería Agropecuaria. Universidad Agraria de la Habana, 334 p.
187. Ünlü, M., Kanber, M., Koc, D., Tekin S. y Kapur, B. 2011. Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a mediterranean environment. Agricultural Water Management. 98, p. 597-605.
188. Utria, E.; Reynaldo, I.; Cabrera, A.; Morales, D. y Lores, A. 2005. Crecimiento de plántulas de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivadas en diferentes sustratos y niveles de abastecimiento hídrico. Cultivos Tropicales, vol.26, no. 3, p. 31-38.
189. Valdés, N. y Vargas, D. 2011. Gases de efecto invernadero en la agricultura, un llamado a la acción. En: Ríos, H.; Vargas, D. y Funes, F. Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático. 1era ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Mayabeque, Cuba: ISBN: 978-959-7023-52-4, p.15-23
190. Valenzuela, A. 2007. El chocolate, un placer saludable. Revista chilena de nutrición, vol. 34 no.3, versión On-line ISSN 0717-7518, p. 9-15.
191. Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Páginas 163-190. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.
192. Varela, M. 2002. Los métodos BIPLLOT como herramienta de análisis de interacción de orden superior en un modelo lineal/bilineal. [Tesis Doctoral]. Universidad de Salamanca, España, 152 p.

193. Vendruscolo, E. C. G.; Schuster, J.; Pileggi, M.; Scapim, C. A.; Molinari, H. B. C.; Marur, C. J.; y Vieira, L. G. E. 2007. Stress-induced synthesis of praline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *J. Plant Physiol.*, vol. 164, no. 10, p. 1367-1376.
194. Vera, L. y Hernández, A. 2012. Características de los Fluvisoles del Campus de la Escuela Superior Politécnica Agrícola de Manabí, Ecuador, en relación con su uso. En: Memorias XVIII Congreso Científico del INCA. Simposio de Edafología, Mayabeque, Cuba. Noviembre 2012.
195. Vera, M; Rosales, H. y Ureña, N. 2000. Caracterización físico-química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Revista Geog. Venez.* vol. 41, no. 2, p. 257-270.
196. Verheye W. H. 1993. Matching land qualities and land use requirement for land suitability classification. En: Ruíz J. F (Ed.) Evaluación de tierras para una agricultura sostenible. Universidad Autónoma Chapingo, México. p. 223-235.
197. Vespa, A. 2008. Relaciones hídricas e intercambio gaseoso en *Theobroma cacao*, L en dos tipos de suelos. [Trabajo especial de grado]. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 69 p.
198. Villa, M.; M. A. Inzunza y E. A. Catalán. 2001. Zonificación agroecológica de hortalizas involucrando grados de riesgo. *Revista Terra.* vol. 19, no. 1, p. 1-7.
199. Vivas, A. M.; Sánchez, L. E. Moncada, A. y Márquez, D. 2005. Cacao: Aspectos agronómicos para su cultivo. Circuito agroproductivo cacao del Táchira, Venezuela. Depósito Legal N°: If 076200630269, San Cristobal, Dic. 2005, p. 67 – 71.
200. Wang, R.; Chen, S.; Zhou, X. 2008. Ionic homeostasis and reactive oxygen species control in leaves and xylem sap of two poplars subjected to NaCl stress. *Tree Physiology*, vol. 28, p. 947-957.

201. Warnock, R. 1989. Contribución a los estudios de zonificación agroecológica de soya (*Glycine max* (L) Merr.), mediante la aplicación de un modelo de simulación dinámico (SUCROS). Revista Fac. Agron. no. 15, p. 41-68.
202. Xiao, G. 2007. Effects of temperatura increase on water use and crop yields in a pea-spring wheat potatorotation. Agric. Water Manag, vol. 91, p. 86-91.
203. Xiong, J., Patil, G., Moe, R. y Torre, S. 2010. Effects of diurnal temperature alternations and light quality on growth, morphogenesis and carbohydrate content of *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae*, 128, p. 54–60.
204. Zambrano, M. 1991. Zonificación agroecológica para el cultivo del cacaotero (*Thebroma cacao, Lin*) en el estado Portuguesa. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”. Tesis. 1991. Consultado [6-2007]. Disponible en: <<http://www.ceniap.gov.ve/>>.