

Identificación de áreas potenciales para cultivo de cacao en Honduras y propuesta de programa de fertilización

Danilo Peña Urriola

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Identificación de áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras y propuesta de programa de fertilización

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Danilo Peña Urriola

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2017

Identificación de áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras y propuesta de programa de fertilización

Danilo Peña Urriola

Resumen. La demanda internacional ha despertado interés para producir el cacao. Honduras es el segundo productor de cacao en Centro América, con calidad reconocida. La producción de cacao se ve afectada por factores climatológicos y edáficos. El objetivo del estudio fue determinar las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras y proponer programas de fertilización de acuerdo al estado de los suelos. El estudio revisó los resultados de 38,364 análisis químicos de suelos de Honduras, analizados por el laboratorio de la Fundación Hondureña de Investigación agrícola, información climatológica y edáfica según los tipos de suelos del país. El país fue zonificado en cinco regiones de acuerdo a las condiciones edafo-climáticas y las características químicas agrupadas por rangos de pH del suelo. Los factores climatológicos evaluados fueron temperatura y precipitación y los edáficos profundidad efectiva y elevación del terreno. Se realizó estadística descriptiva. En Honduras, 48% de los suelos presentan pH menores a 5.5, el contenido de materia orgánica fluctúa entre 2.4 y 5.4 %. El fósforo es altamente deficiente en los suelos. El contenido de K, Ca y Mg está en relación al pH. La limitación principal que presentan los suelos para cacao es la baja fertilidad natural, por lo que se debe ajustar la acidez del suelo y la fertilización. Honduras es un país que presenta condiciones edáficas y climáticas favorables para producir cacao en 10.30% de su extensión. La selección de sitios para la siembra se debe hacer con base en un estudio de suelos y análisis del clima.

Palabras clave: Internacional, mercado, suelo apto.

Abstract. International demand has aroused interest in producing cocoa. Honduras is the second largest producer of cocoa in Central America, with recognized quality. Cocoa production is affected by climatic and soil factors. The objectives of the study was to determine the potential areas for cocoa cultivation in Honduras and to propose fertilization programs according to the soil condition. The study reviewed the results of 38,364 soil chemical analyses of Honduras, analyzed by the Honduran Foundation of Agricultural Research Laboratory, climatological information was gathered from several sources. The country was zoned in five regions according to the Edafo-climatic conditions. The chemical characteristics were grouped by PH ranges of the soil. The climatological factors assessed were temperature and precipitation and the soil effective depth and elevation above sea level the terrain. Descriptive statistics were performed. In Honduras, 48% of soils have pH less than 5.5, organic matter content fluctuates between 2.4 and 5.4%. Phosphorus is highly deficient in soils. The contents of K, Ca and Mg are relation to PH. The main limitation of soils for cocoa production is there is low natural fertility, so soil acidity and fertilization should be adjusted. Honduras is a country that presents favorable climatic and soil conditions to produce cocoa in 10.30% of its extension. The selection of planting sites should be done based on a soil studies and climate analyses.

Key words: APT soil, international, market.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iii
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	32
5. RECOMENDACIONES	33
6. LITERATURA CITADA.....	34
7. ANEXOS	38

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Condiciones climatológicas ideales para el cultivo de cacao de acuerdo a FHIA (Dubón y Sánchez 2016).....	4
2. Condiciones edáficas ideales para el cultivo de cacao de acuerdo a FHIA (Dubón y Sánchez 2016).	5
3. Regiones de Honduras agrupas de acuerdo a las características químicas de los suelos.....	6
4. Clasificación de los niveles de acidez del suelo.....	7
5. Necesidad de encalamiento para cambiar la reacción (pH) del suelo según la textura.	8
6. Áreas potenciales por departamentos para la expansión del cultivo de cacao en Honduras de acuerdo al requerimiento edáficos y edafoclimáticas.....	10
7. Propuesta de fertilización del cultivo de cacao en diferentes edades, para nutrientes de contenido bajo en el suelo.....	30
8. Propuesta de fertilización del cultivo de cacao en diferentes edades, para nutrientes de contenido medio en el suelo.....	30
9. Propuesta de fertilización del cultivo de cacao en diferentes edades, para nutrientes de contenido alto en el suelo.....	31
Figuras	Página
1. Departamentos con potencial para sembrar cacao.....	3
2. Mapa de temperaturas media anual de Honduras.....	11
3. Mapa de precipitación media anual de Honduras.....	12
4. Mapa de relieve de Honduras.....	13
5. Mapa de las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras basado en factores edáficos.	14
6. Mapa de las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras de acuerdo al requerimiento edafoclimáticas.	15
7. Porcentajes de suelos en Honduras de acuerdo a su pH.....	16
8. Mapa de niveles de acidez de los suelos de Honduras.....	18
9. Estado de la materia orgánica en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).	20
10. Niveles de nitrógeno en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH)	22
11. Niveles de fósforo de los suelos de Honduras en relación a la reacción del	

suelo (pH).	23
12. Estado de potasio, expresado como porcentaje de saturación en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).	25
13. Estado de calcio, expresado como porcentaje de saturación en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).	27
14. Estado de Magnesio, expresado como porcentaje de saturación en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).	29

Anexos	Página
1. Variaciones mensuales de la temperaturas y precipitaciones en las regiones estudiadas.	38

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de los mercados internacionales en los últimos años, ha despertado gran interés en los productores por el cultivo de cacao en varias partes del mundo. El cultivo de cacao es un árbol perenne dicotiledónea, de amplia producción en áreas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Batista 2009). El cacao es originario de América y ha tenido un auge a nivel mundial, donde se destaca el continente africano como líder en la producción, seguido del continente de americano y por último el continente asiático (IMCO 2015).

La producción de cacao es una actividad agrícola que es rentable y atractiva para los inversionistas basándose en su calidad, rendimiento y comercialización (Alfaro Mora 2013). Honduras, a nivel de Centro América, es el segundo mayor productor y se caracteriza por su calidad, la cual fue galardonada en París entre los 17 mejores cacaos a nivel mundial. Gracias a la FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) con el apoyo del gobierno de Honduras se han realizado investigaciones para aumentar la producción y la calidad del cacao (Chávez Amaya y Chafla Granda 2009).

Estudios recientes han demostrado un descontento por parte de los inversionistas debido a la insuficiencia de la oferta y la escasa competitividad del cacao americano. Lo que ha obligado al gobierno expandir las fronteras agrícolas para aumentar la producción a 1,400 toneladas métricas por hectárea por año (FHIA 2016). La producción de cacao le genera a Honduras entre 4.5 y 5 millones de divisas al año (Proceso Digital 2016), lo cual constituye una importante fuente de ingresos para las familias dedicadas a este rubro; de allí nace la necesidad de identificar las áreas potenciales para este rubro.

Las producciones de cacao se ven afectada por factores climatológicos como el brillo solar, precipitación y temperatura es un factor importante en la estimulación de los procesos bioquímicos de las plantas; alta temperatura aumenta la respiración y disminuye la tasa de fotosíntesis lo que ocasiona una reducción en el desarrollo del cultivo (Hardy 1961), lo cual se ve reflejado en el rendimiento y calidad del cacao. Otros factores que afecta a la producción son las condiciones fisicoedáfica como pendiente, profundidad efectiva, textura, drenaje y reacción del pH de los suelos. El cacao requiere de suelos profundos, color oscuro, subsuelo pardo a pardo rojizo, friable, texturas finas, estructura granular, bien drenado, topografía regular o moderada (Paredes 2003).

Honduras depende en gran parte de la agricultura, es por ello que se debe buscar rubros con buena rentabilidad como el cacao. La principal limitante al momento de cultivar es que no existe el conocimiento suficiente para manejar el cultivo en gran escala y por otra parte el productor no toma en cuenta las propiedades químicas, biológicas y físicas de los suelos,

ni los factores ambientales para establecer un cultivo, lo cual se ve reflejado en los rendimientos.

La importancia de esta investigación radica en identificar las zonas potenciales a través de una evaluación de las condiciones climáticas, edáficas y las propiedades químicas de cada región en Honduras y compararlos con los niveles óptimos requeridos por la planta con el objetivo de determinar las áreas con el mayor potencial. Además, desarrollar programas de manejo agronómico, para asegurar el éxito de los productores y en general de la industria cacaotera en Honduras.

El objetivo de esta investigación fue:

- Determinar las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras.
- Evaluar las condiciones químicas de los suelos de Honduras en relación al potencial para el cultivo de cacao.
- Proponer programas de fertilización para los distintos suelos destinados al cultivo de cacao en Honduras.

2. METODOLOGÍA

Localización de zona de estudio.

El estudio se realizó en la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola y en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano para los departamentos de Atlántida, Colón, Comayagua, Copán, Cortés, Choluteca, El Paraíso, Francisco Morazán, Gracias a Dios, Intibucá, La Paz, Lempira, Ocotepeque, Olancho, Santa Bárbara, Valle y Yoro donde se busca extender la frontera agrícola en la producción del cultivo de cacao.



Figura 1. Departamentos con potencial para sembrar cacao.
Fuente: (Barrientos 2013)

Fuentes de información.

La información de suelos de Honduras de estudios realizados por Simmons 1964 y Arévalo et al. 2014, fue usada en este estudio. La base de datos de los análisis químicos realizados por el laboratorio químico Agrícola de FHIA con un total de 38,364 muestras. Las fuentes de información de datos climatológicos de Mihailova 1995 y Arévalo et al. 2014. Los datos de análisis químicos se ordenaron por departamentos y luego en cinco regiones edafoclimáticas, los datos fueron ordenados por pH debido que es el indicador más representativo de la fertilidad del suelo.

Requerimientos Edafoclimática para el cultivo de cacao. Las condiciones ideales para el cultivo de cacao son propias de ambiente tropical húmedo (Cuadro 1). Estas condiciones fueron tomadas como punto de referencias para compararla con las diferentes regiones estudiadas en esta investigación (Cuadro 3).

Cuadro 1. Condiciones climatológicas ideales para el cultivo de cacao de acuerdo a FHIA (Dubón y Sánchez 2016).

Parámetro	Condición
Temperatura	Media anual de 25 y 26 °C.
Precipitación	Media anual de 1,800 a 2,500 mm bien distribuido (150 – 200 mm/mes).
Luminosidad	Cuatro a seis horas diarias de brillo solar.
Humedad Relativa	Humedad ambiental entre 70 % y 80 %; debajo del 70 % provoca un desbalance hídrico por la mayor transpiración foliar y la reducida absorción de agua que se presenta durante la estación seca. La humedad del ambiente al estar arriba del 85% durante el periodo lluvioso y frío, favorece la incidencia de enfermedades.
Viento	El cacao no tolera velocidades mayores de 4 m/s, ya que provoca desecamiento y caída prematura de las hojas.
Latitud y altitud	Latitud 20° Norte y 20° Sur. En Honduras, el cacao se debe sembrar de 4 hasta 800 msnm.

El análisis morfológico de los suelos de Honduras se realizó por medio del mapa de suelos de Honduras, estudiando las propiedades físicas de cada orden de suelo, comparándolo con los requerimientos propuesto por (Dubón y Sánchez 2016). En el (Cuadro 2) se indican las propiedades edáficas de mayor relevancia para el cultivo del cacao.

Cuadro 2. Condiciones edáficas ideales para el cultivo de cacao de acuerdo a FHIA (Dubón y Sánchez 2016).

Parámetro	Condición
Textura	Franca, franco arcilloso, franco limoso, franco arenoso y arenas francas finas y muy finas.
Permeabilidad y Porosidad	El cacao requiere suelos porosos para asegurar oxigenación y buen desarrollo radicular.
Consistencia	Debe ser friable.
Profundidad	Suelos profundos entre 0.80 – 1.20 metros de profundidad real.
Drenaje	El cultivo de cacao no tolera encharcamiento, los suelos donde se siembren cacao deben estar bien drenados para obtener un buen desarrollo radicular.
Color	El color del suelo refleja el contenido de materia orgánica, que es importante para la planta de cacao; preferiblemente suelos oscuros.
Materia Orgánica	Es un compuesto que acondiciona las propiedades físicas y biológicas del suelo y de la planta. Deseable alto contenido.
Topografía	No se debe sembrar en zonas con pendientes mayores a 25%, debido a que los suelos son más vulnerables a la erosión.

Mapas climáticos. Se recopiló la información de temperatura (promedio, máxima y mínima) y precipitación anual (Arévalo et al 2014; Mikhailova 1995). Se elaboró una base de datos en una hoja de Excel aplicado los distintos componentes climáticos tomando en cuenta el requerimiento del cultivo de cacao.

Después de la recolección de los datos, se generó el mapa de temperatura utilizando el software ArcGIS® 10.5. La información al estar de forma vectorial se convirtió a formas poligonales (raster) y se clasificó en tres rangos, menor a 22°C, de 22-30°C y mayor de 30°C, con el fin de encontrar las regiones potenciales para el cacao, las cuales están entre los 22 y 30°C.

El mapa de distribución de precipitaciones anual en Honduras se generó utilizando el software ArcGIS® 10.5. La información al estar en forma vectorial se convirtió a formas de polígonos (raster) mediante la herramienta autodesdesk, se clasificó en tres rangos, menor a 1,800 mm, de 1,800 a 2,500 mm y mayor a 2,500 mm, ajustado al requerimiento hídrico del cultivo de cacao (Cuadro 1).

Mapa de relieve. La clasificación del relieve en grupos por pendientes en rangos de 0 a 3%, 3 a 7%, 7 a 12%, 12 a 25% y mayor de 25% (IGAC 1982), se realizó mediante el análisis de un modelo digital de elevaciones (MDE) proporcionado por el laboratorio de sistema de información geográfica (SIG) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. De acuerdo al requerimiento del cultivo de cacao en Honduras, la información de elevación fue filtrada mediante la herramienta “TIN a Raster”, seguido por “Raster a Polígono” del programa ArcGIS® 10.5 a partir de cuatro hasta los 800 msnm (Figura 4).

Mapa de suelos. Se elaboró utilizando la base de datos de los estudios de suelos de Honduras de Castellanos 1964 y el estudio de suelo realizado por Arévalo et al. 2014, haciendo uso de la herramienta del software ArcGIS® 10.5 y se generaron los mapas de pH del suelo y de suelos para el cultivo de cacao. Para el mapa de pH, la información fue clasificada de acuerdo al nivel de acidez como: extremadamente ácido (<4.5), muy fuertemente ácido (4.5– 5.0), fuertemente ácido (5.1–5.5), moderadamente ácido (5.6-6.0), ligeramente ácido (6.1-6.5) y neutro (6.6-7.3), con el fin de hacer una primera clasificación de la fertilidad de los suelos. El mapa de suelos, incluya las propiedades físicas de más importancia: textura, profundidad y drenaje. De los suelos donde no existe información se hizo un ajuste de acuerdo a la calificación taxonómica a nivel de orden suelo del estudio realizado por (Arévalo et al. 2014). Cabe recalcar que toda la información se ajustó de acuerdo a los requerimientos morfológicos de suelos para el cultivo de cacao (Cuadro 2).

Zonificación.

El territorio nacional fue zonificado en cinco regiones (Cuadro 3), se realizó en base al potencial de clima y suelos que presentan las diferentes regiones, se encontró información relativamente escasa para elaborar balances hídricos que conjuntamente, con los datos de suelos, pudieran definir con más precisión las diferentes zonas climáticas para la producción de cacao en Honduras.

Cuadro 3. Regiones de Honduras agrupadas de acuerdo a las características químicas de los suelos.

Región	Departamento	N° de muestras evaluadas
1	Atlántida, Colón y Gracias a Dios	12,778
2	Olancho y Yoro	3,361
3	Copán, Lempira, Ocotepeque y Intibucá	10,608
4	Cortés, Comayagua, La Paz, El Paraíso y Santa Bárbara	10,383
5	Choluteca y Valle	1,238
	Total	38,368

Análisis de laboratorio. Los análisis de suelos en FHIA se determinan por los métodos referidos a continuación: materia orgánica por el método de Walkley y Black, pH H₂O el método (Agua 2:1), N el 5% de la materia orgánica, P, K, Ca y Mg por el método de extracción con acetato de amonio pH 4.8, K por el método de acetato de amonio pH 4.8, S

por el método de turbidez; cobre, Fe, Mn por el método EDTA y Absorción Atómica (Información proporcionada por Gauggel C. Jefe de laboratorio químico agrícola FHIA).

La interpretación de los análisis de los suelos Honduras en relación a la reacción del (pH), se interpretó de acuerdo a la clasificación propuesta por USDA 1999, en rangos que van desde extremadamente ácidos (<4.5) a moderadamente alcalino (6.6 – 7.3) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Clasificación de los niveles de acidez del suelo.

Reacción del suelo	pH
Extremadamente ácido	<4.0
Muy fuertemente ácido	4.5-5.0
Fuertemente ácido	5.0-5.5
Moderadamente ácido	5.5-6.0
Ligeramente ácido	6.1-6.5
Neutral	6.6-7.3
Ligeramente alcalino	7.4-7.8
Moderadamente alcalino	7.9-8.4

Fuente. USDA 1999.

Para calcular la saturación de bases. Lo primero que se hizo fue transformar de ppm a meq /100 g de suelo de la siguiente manera

ppm de K/390 = K meq/100 g

ppm de Ca/200 = Ca meq/100 g

ppm de Mg/120 = Mg meq/100 g

ppm de Na/230= Na meq/100 g

Para calcular la Capacidad de Intercambio catiónico (CIC) es igual a la sumatoria de las bases intercambiables + la acidez intercambiable ($Al^{+3}+H^{+1}$) (Arévalo y Gauggel 2015). Para determinar la acidez intercambiable del suelo se calculó de acuerdo al nivel de pH del suelo para los suelos de Honduras. Si el pH se encontraba en el rango de 4 a 4.5 se estima un valor de 3 cmol/kg, pH de 4.5 a 5 se le da un valor de 1.3 cmol/kg, de 5 a 5.5 se le da un valor de 0.1 cmol/kg y para pH mayores de 5.5 se le da un valor de 0 cmol/kg (Oliva Escobar 2009).

Contenido de Bases. Para calcular el contenido de bases, se calcula la saturación de cada una, así: Saturación de potasio, ecuación [1], Saturación de calcio, ecuación [2], Saturación de magnesio, ecuación [3].

$$\text{Porcentaje de Saturación de K} = \frac{\left(K \frac{\text{meq}}{100} \text{ g suelo}\right)}{\text{CICe}} \times 100 \quad [1]$$

$$\text{Porcentaje de Saturación de Ca} = \frac{\left(\text{Ca} \frac{\text{meq}}{100} \text{ g suelo}\right)}{\text{CICe}} \times 100 \quad [2]$$

[3]

$$\text{Porcentaje de Saturación de Mg} = \frac{(\text{Mg} \frac{\text{meq}}{100} \text{ g suelo})}{\text{CICE}} \times 100$$

Determinación de requerimiento de cal. El método utilizado fue el de laboratorio de suelos de Zamorano, basado en la propuesta por Gauggel 2003 (cuadro 5), en el que utiliza tres variables para determinar la dosis de cal recomendadas: texturas, pH y la mineralogía de las arcillas del suelo, estimada a partir de la CIC de la arcilla, la cual se calcula mediante la ecuación [4] .

[4]

$$\text{CICar} = \frac{(\text{CICE} - \text{CICmo})}{\text{Ar} (\%)} \times 100$$

Donde:

CICar: Capacidad de intercambio catiónico de la arcilla.

CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

CICmo: Capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica.

Ar (%): porcentaje de Arcilla.

Cuadro 5. Necesidad de encalamiento para cambiar la reacción (pH) del suelo según la textura.

Cambio en pH deseado en la Capa arable	Cal Agrícola (t/ha)					
	Arena	Franco Arenoso	Franco limoso	Franco Arcillo limoso	Franco arcilloso	Orgánico
4.0 – 6.5	2.9	5.6	7.8	9.4	11.2	21.3
4.5 – 6.5	2.5	4.7	6.5	7.8	9.4	18.1
5.0 – 6.5	2.0	3.8	5.1	6.3	7.4	14.1
5.5 – 6.5	1.3	2.9	3.8	4.5	5.2	9.6
6.0 – 6.5	0.7	1.6	2.0	2.5	2.7	4.9

Fuente. (Gauggel 2003) modificado por Gómez y Mantilla 2014.

Análisis Estadístico.

Se realizó estadística descriptiva de las variables químicas del suelo. Se hizo un análisis estadístico con la medida de tendencia central para la media, desviación estándar, varianza, mediana, mínima y máxima. Para encontrar diferencias de cada variable se realizó separación de medias agrupando la información en rangos de acidez (Cuadro 4) de todos los departamentos de Honduras con el paquete estadístico SAS 9.4, por la cual se determinaron las regiones con similitud en resultados, además de la asociación geográficas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factores edafoclimáticas para la producción del cultivo de cacao en Honduras.

Las condiciones climáticas en el cultivo de cacao tienen un gran impacto tanto en la calidad como en la productividad (Enríquez 1985). El mapa de temperatura promedio anual para el cultivo de cacao en Honduras muestra tres rangos de temperatura que permite su mejor visualización y entendimiento, donde se observa que el 83% del área nacional no presenta limitación para el establecimiento del cultivo de cacao, ya que está dentro del rango óptimo (Figura 2). Un 12% del área nacional presentan bajas temperaturas, las cuales se registran en los departamentos de Copán, Intibucá, Lempira y Ocotepeque (región 3).

El 5% del área nacional presenta limitaciones por altas temperaturas, las cuales se registran en los departamentos de Choluteca y Valle (región 5). Temperaturas altas provocan alteraciones fisiológicas como: pérdida neta de fotoasimilados, inhibición del crecimiento y pérdida de reservas. Mientras que las bajas temperaturas causan daños en los tejidos jóvenes (Cerrón 2012). En áreas con limitaciones de temperatura el cultivo de cacao se debe sembrar bajo sombra, ya que actúa como una barrera física.

Considerando que el cultivo de cacao requiere de 1,800 a 2,500 mm anual (Cuadro 1), la precipitación es el factor climático limitante en los suelos de Honduras (Figura 3). El mapa de precipitación promedio anual muestra las regiones con las precipitaciones óptimas, a la vez muestra las regiones donde hay un exceso o un déficit de lluvia. Como se observa que la región central de Honduras, de sembrarse cacao va a tener problemas de déficit hídrico por, lo que se debe establecer sistemas de riego.

El 29% del área de Honduras no presenta restricción de precipitación. El 56.8% del área a nivel nacional presentan limitaciones por déficit hídrico; solo un 14.2% del área de Honduras presentan un exceso de lluvia, de implementarse el cultivo, necesitará de sistemas de drenaje, donde esté sembrado en terreno plano que resulte encharcamiento.

El mapa de las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras de acuerdo a las condiciones edáficas, muestra las áreas óptimas y no óptimas (Figura 5). La baja fertilidad y la poca profundidad de los suelos, son las principales limitantes que presentan los suelos de Honduras para la expansión del cultivo de cacao.

En Honduras, 7,969,377.83 ha fueron clasificadas como áreas no aptas, las principales limitantes es el porcentaje de pendiente (Figura 5), clima, profundidad efectiva del suelo, elevación y las áreas protegidas y 3,279,822.17 ha, cumplen con el requerimiento edáfico (Cuadro 6). De las áreas potencial para el cultivo de cacao 2,120,958.17 ha, presenta

desbalance hídrico dando como resultado que la planta sufra de estrés hídrico, si no hace aplicación de riego.

El mapa de las áreas potenciales de acuerdo al requerimiento edafoclimática para el cultivo de cacao en Honduras (Figura 6). En Honduras, 1158,864 ha fue clasificadas como área potencial para el cultivo de cacao, ya que cumplen con el requerimiento climático y edáfico (Cuadros 1 y 2).

Las áreas potenciales para la expansión del cultivo de cacao por departamentos. La Costa Norte (Este y Oeste) y en el Occidental del país, es donde se encuentra las mayores áreas con potencial para la expansión del cultivo de cacao (Figura 6). Ya que son suelos profundos, con temperaturas promedio anual de 26 °C y precipitación anual entre 1,800 y 2,500 mm. En el (Cuadro 6) se detallan el total de áreas por departamentos que cumplen con las condiciones edáficas y la vez muestra el total áreas potenciales que cumplen con las condiciones climatológicas y edáficas para el cultivo de cacao.

En el departamento de Ocotepeque, 45,241 ha cumplen con las condiciones edáficas, al evaluar las condiciones climatológicas es el departamento con mayor limitante para la expansión del cultivo de cacao (Cuadro 6). En zona central y sur del país se le debe prestar mucha importancia a la precipitación.

Cuadro 6. Áreas potenciales por departamentos para la expansión del cultivo de cacao en Honduras de acuerdo a las condiciones edáficas y edafoclimáticas.

Departamentos	Hectáreas potenciales (edáficas)	Áreas potenciales (Climatológicas y edáficas)
Atlántida	223,743	168,159
Choluteca	79,851	53,007
Colón	333,733	228,846
Comayagua	106,600	9,657
Copán	113,716	601
Cortés	166,439	57,901
El Paraíso	212,839	34,120
Francisco Morazán	103,110	641
Gracias a Dios	630,970	312,150
Intibucá	81,252	29,777
La Paz	100,798	16,826
Lempira	84,339	19,849
Ocotepeque	45,241	0
Olancho	632,329	119,067
Santa Bárbara	135,061	67,445
Valle	26,374	2,395
Yoro	203,424	38,423
Total	3,279,822	1,158,864

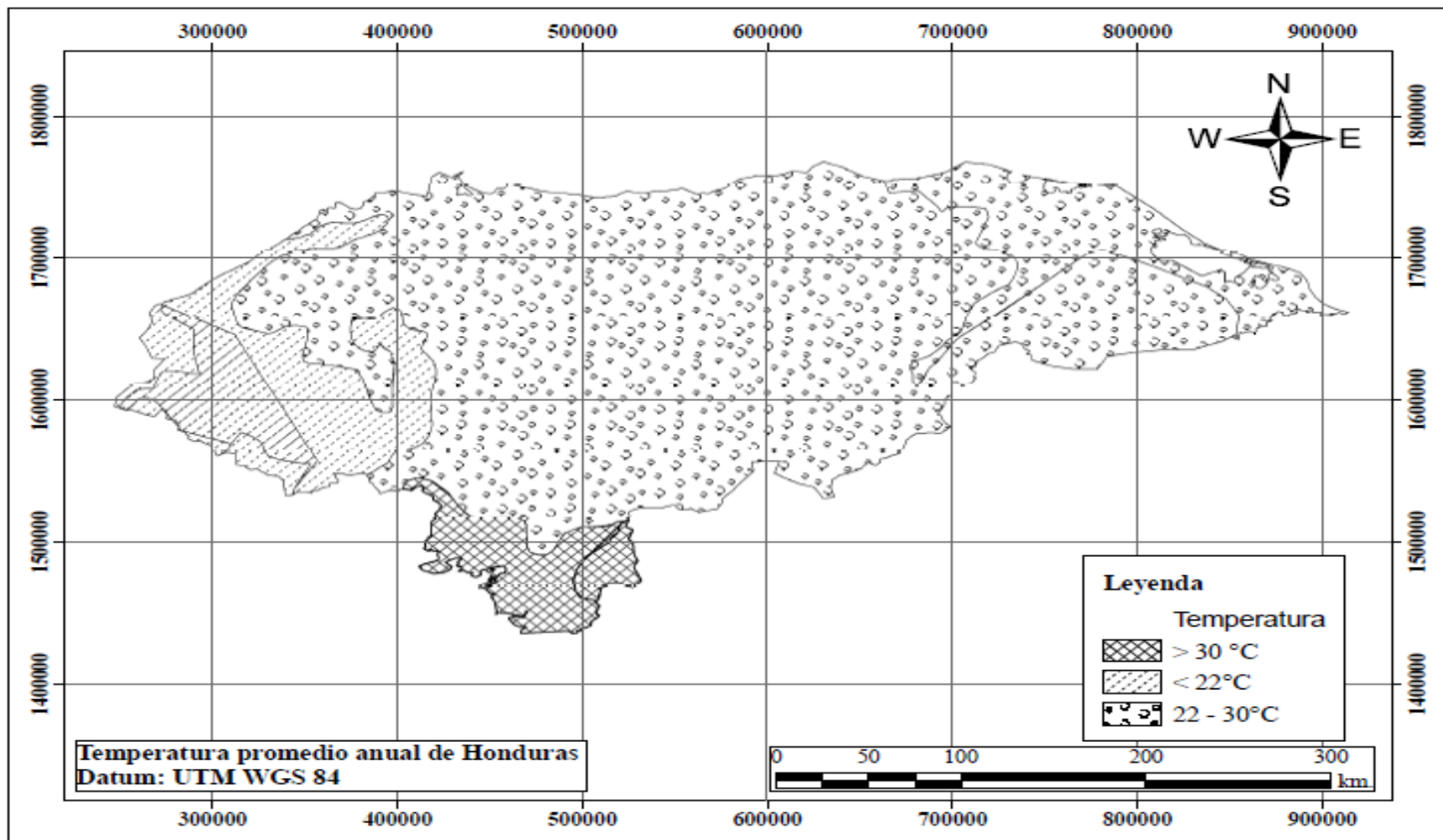


Figura 2. Mapa de temperaturas media anual de Honduras.
 Fuente: (Arévalo et al. 2014; Mikhailova 1995). Adaptado por el autor.

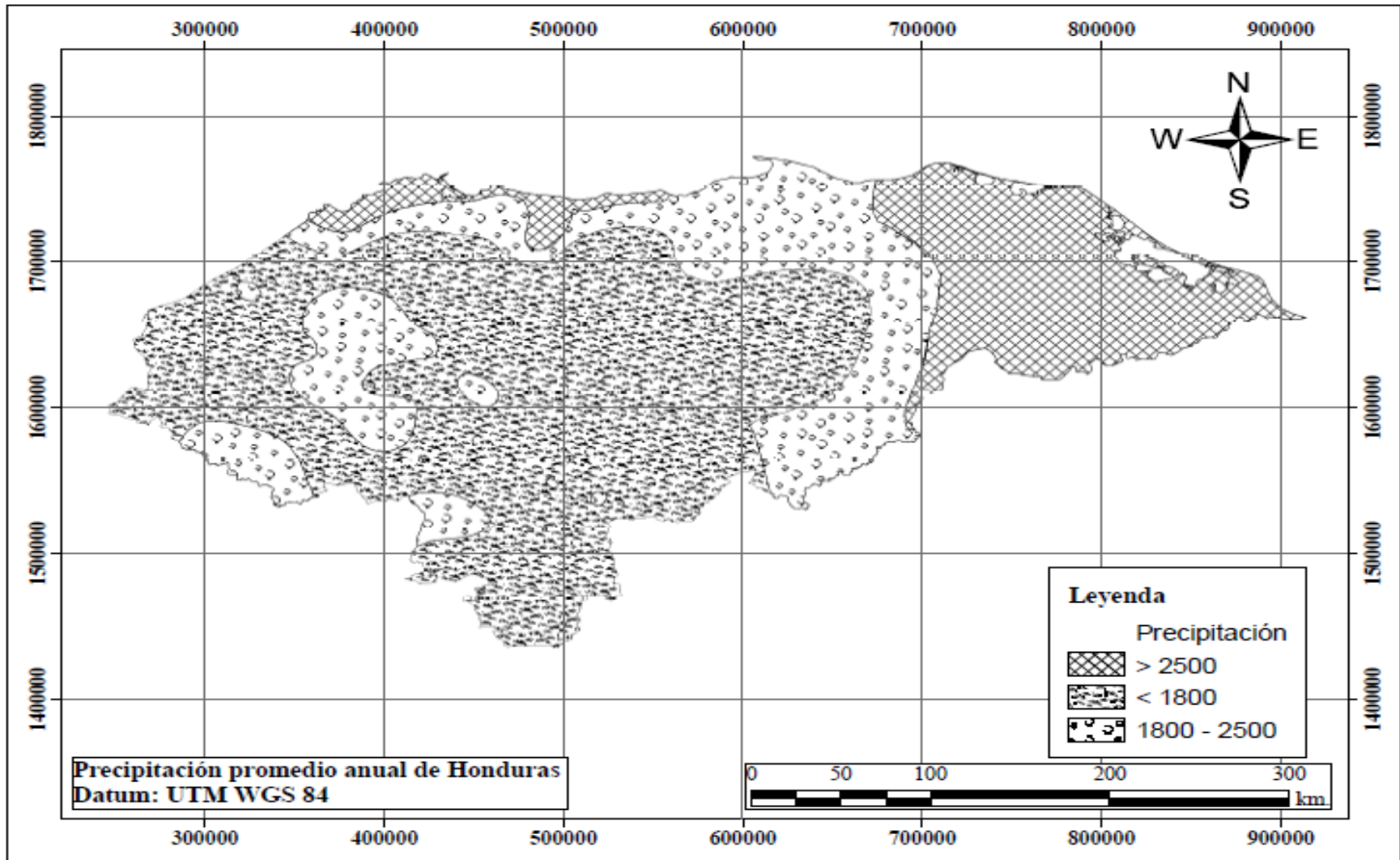


Figura 3. Mapa de precipitación media anual de Honduras.
Fuente: (Arévalo et al 2014; Mikhailova 1995). Adaptado por el autor.

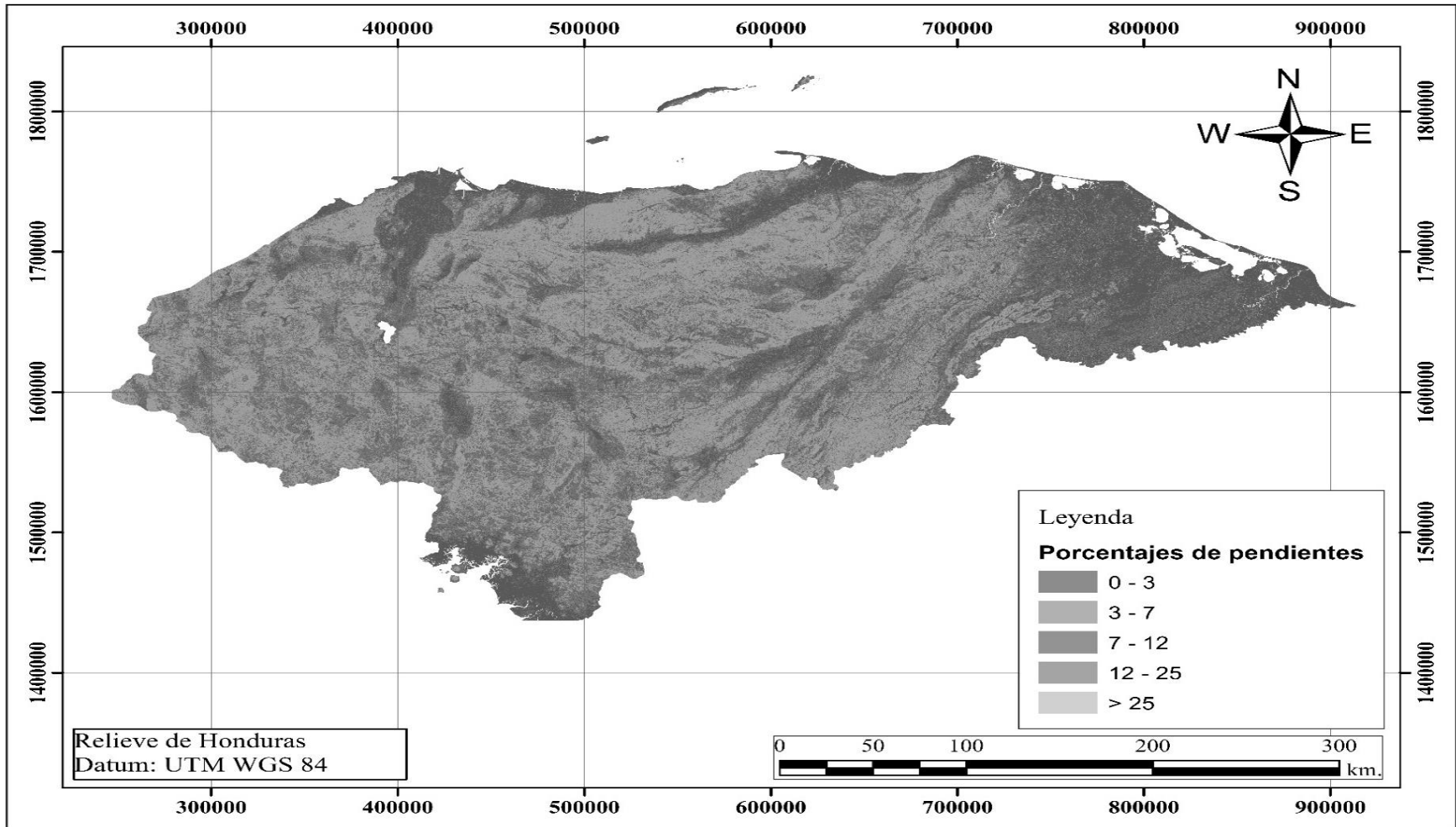


Figura 4. Mapa de relieve de Honduras.
Fuente: (Arévalo et al. 2014). Adaptado por el autor.

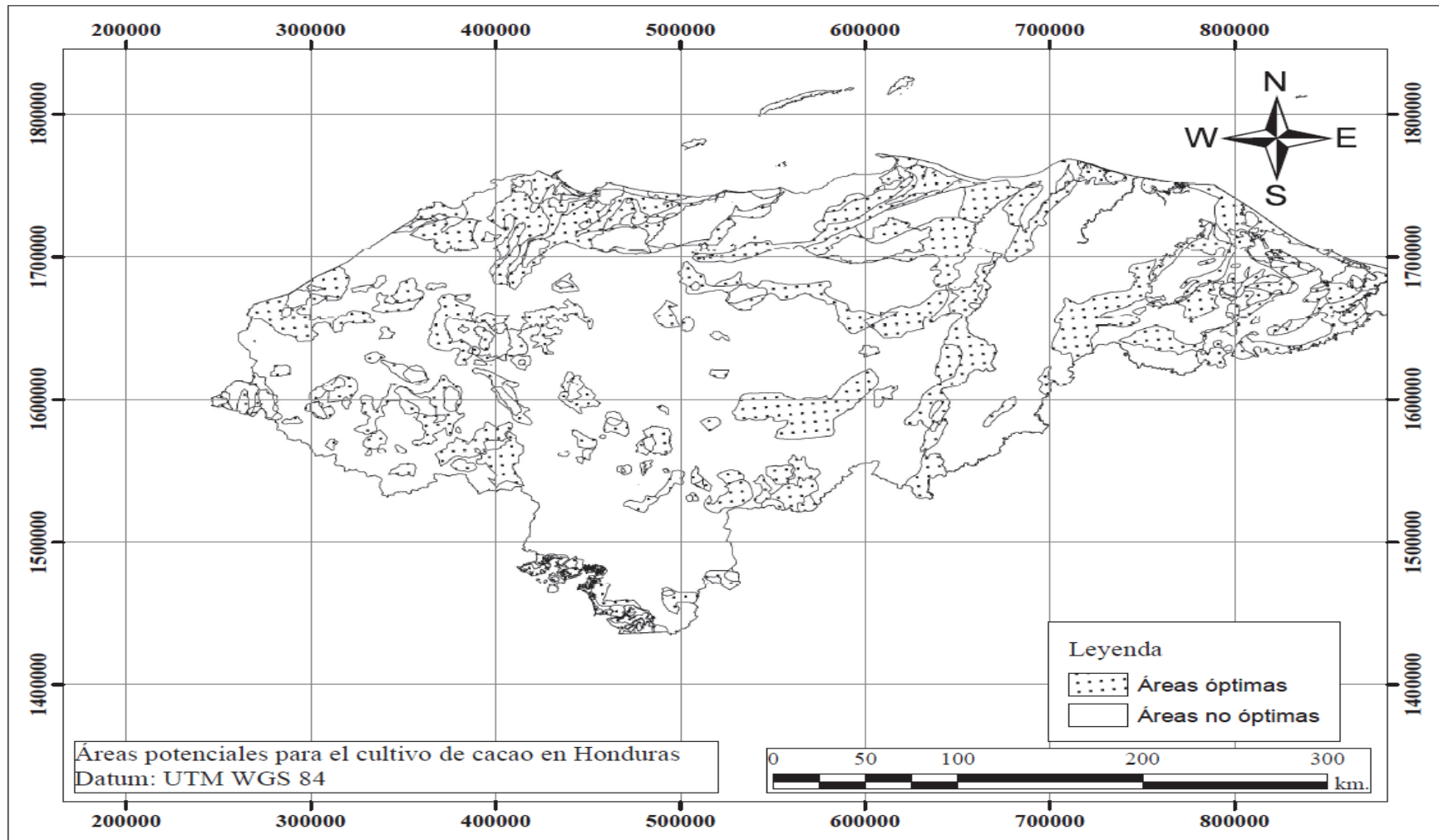


Figura 5. Mapa de las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras basado en factores edáficos.
Fuente: (Arévalo et al. 2014; Castellanos 1964). Adaptado por el autor.

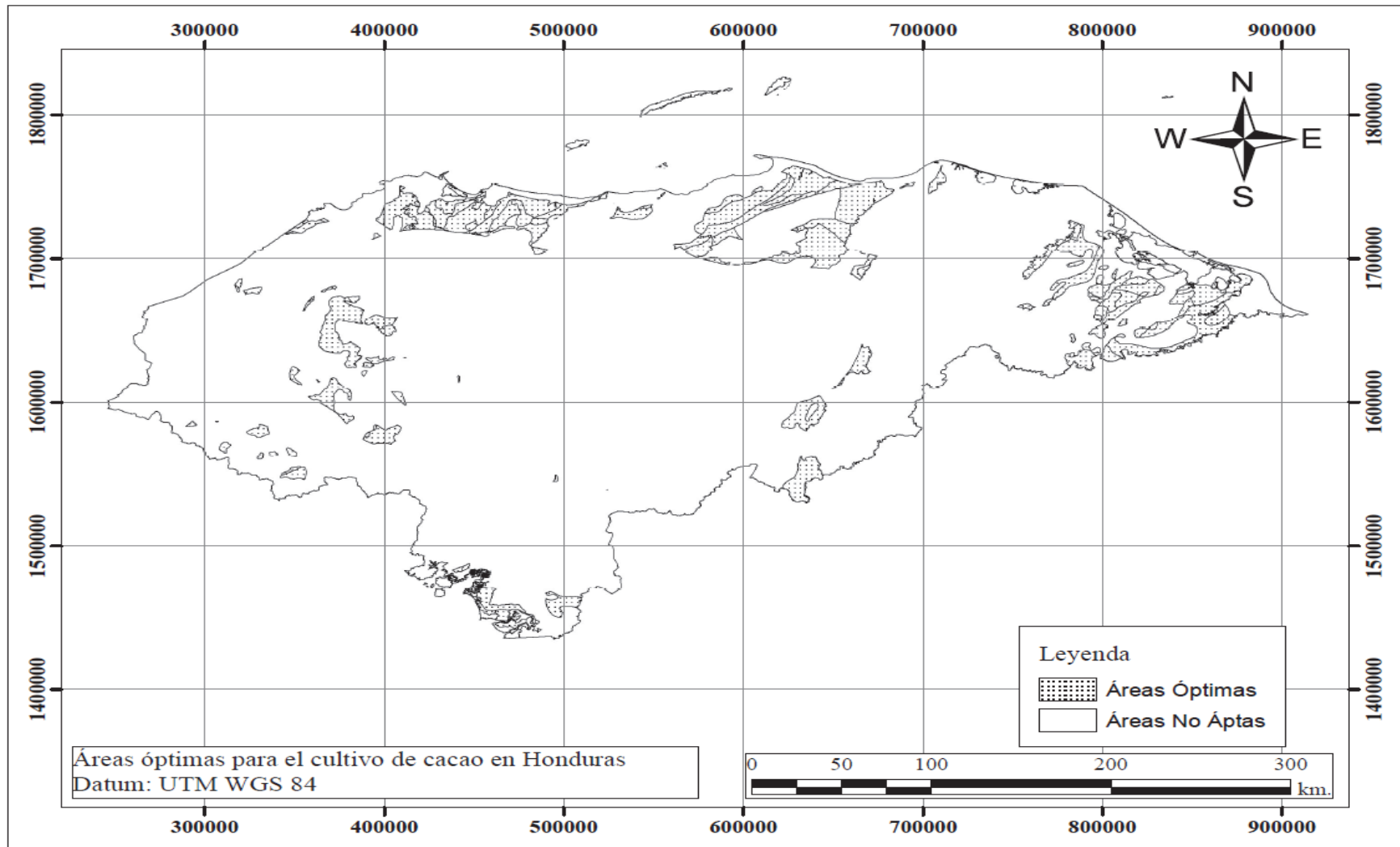


Figura 6. Mapa de las áreas potenciales para el cultivo de cacao en Honduras de acuerdo al requerimiento edafoclimáticas.
Fuente: (Arévalo et al 2014; Castellanos 1964). Adaptado por el autor.

Condición Química de los suelos de Honduras.

Reacción del suelo (pH). En los suelos de Honduras el pH varía desde extremadamente ácidos hasta ligeramente alcalino, dominando los pH menores a 5.5 (48%), seguido de los suelos con pH moderadamente ácidos (pH 5.5 a 6.5) que representan 39%. Un 13% de los suelos tienen pH mayores a 6.5 que son suelos ligeramente alcalinos (Figura 7). En suelos que presentan pH menores a 5.5, significa una reducción en la disponibilidad de nutrientes y para el crecimiento y producción de los cultivos, esto significaría aplicar dosis de cal hasta de 5 t/ha para neutralizar el pH.

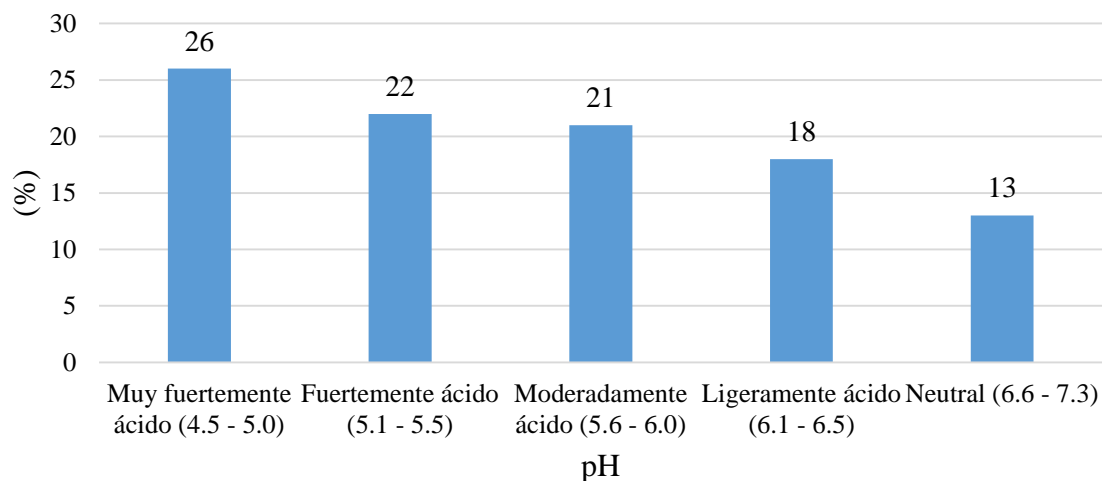


Figura 7. Porcentaje de suelos en Honduras de acuerdo a su pH.

La acidificación del suelo ocurre por remoción de nutrientes que promueven la pérdida de cationes básicos, dando como resultado una reducción en el pH, por acidificación natural. Esta ocurre cuando el material parental, está expuesto a altas precipitaciones y produce ácido carbónico que genera diferentes niveles de acidificación en el suelo (Barettino et al. 2005).

El nivel de acidificación en los suelos de Honduras ha incrementado por pérdida de la capa arable debido a erosión, adición de fertilizantes ricos en amonio y azufre, manejo inadecuado de las enmiendas, deforestación y habilitación de nuevas áreas sin un diagnóstico de la fertilidad de los suelos (FAO 2015).

Los altos niveles de acidez son la principal limitante que presentan los suelos agrícolas, ya que influyen de manera directa en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. Por lo que es necesario ajustar el pH del suelo a ligera acidez (6.5), donde todos los nutrientes están disponibles para la planta (Porta et al 2014). De acuerdo a estudios realizados, para la neutralización de la acidez se requiere la aplicación de enmienda como el carbonato calcio y/o el carbonato de calcio y magnesio conocidos como cal agrícola y cal dolomítica respectivamente (Pérez Castellanos 2016). Las dosis a emplear varían de acuerdo al nivel de acidez y la capacidad tampón de cada suelo. Se ha determinado para los

suelos de Honduras que la dosis de cal puede oscilar de 1 a 5 t/ha⁻¹, de acuerdo a la región y condiciones edafoclimáticas basado en la propuesta diseñada por Gauggel (2003).

La costa norte y oriental de Honduras, son las regiones que tienen los mayores problemas de acidez, ya que más de la mitad de las muestras presentan bajos valores de pH, mientras que los suelos de la región sur de Honduras son suelos con una tendencia a neutralidad. Esto debido a factores climáticos y geológicos, ya que, en la costa norte y Oriental, la precipitación es mayor (> 1,800 mm/año); en el sur del país el régimen de lluvia es menor (< 1,800 mm/año). Geológicamente los suelos en el sur son derivados de tobas volcánicas, ricas en potasio y bases y las otras zonas como Comayagua y occidente, el material parental es roca caliza (IGN 1991). Estos dos factores hacen que el pH de los suelos de la zona norte y oriental, sean generalmente más ácidos.

La distribución de los suelos de Honduras de acuerdo al pH deja ver que los bajos niveles de pH, están ampliamente distribuidos en las diferentes zonas de importancia agrícola (Figura 8).

Composición química de los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH). El pH es un indicador del estado nutricional del suelo. Con los niveles de acidez es posible estimar el comportamiento de los nutrientes en el suelo. El nivel crítico de pH en el suelo es de 5.5, debido al incremento en la disponibilidad de Al⁺³ que se produce por debajo de este rango, el cual causa pérdida de nutrientes por lixiviación y afecta la actividad microbiológica de los suelos (Vásquez 2013).

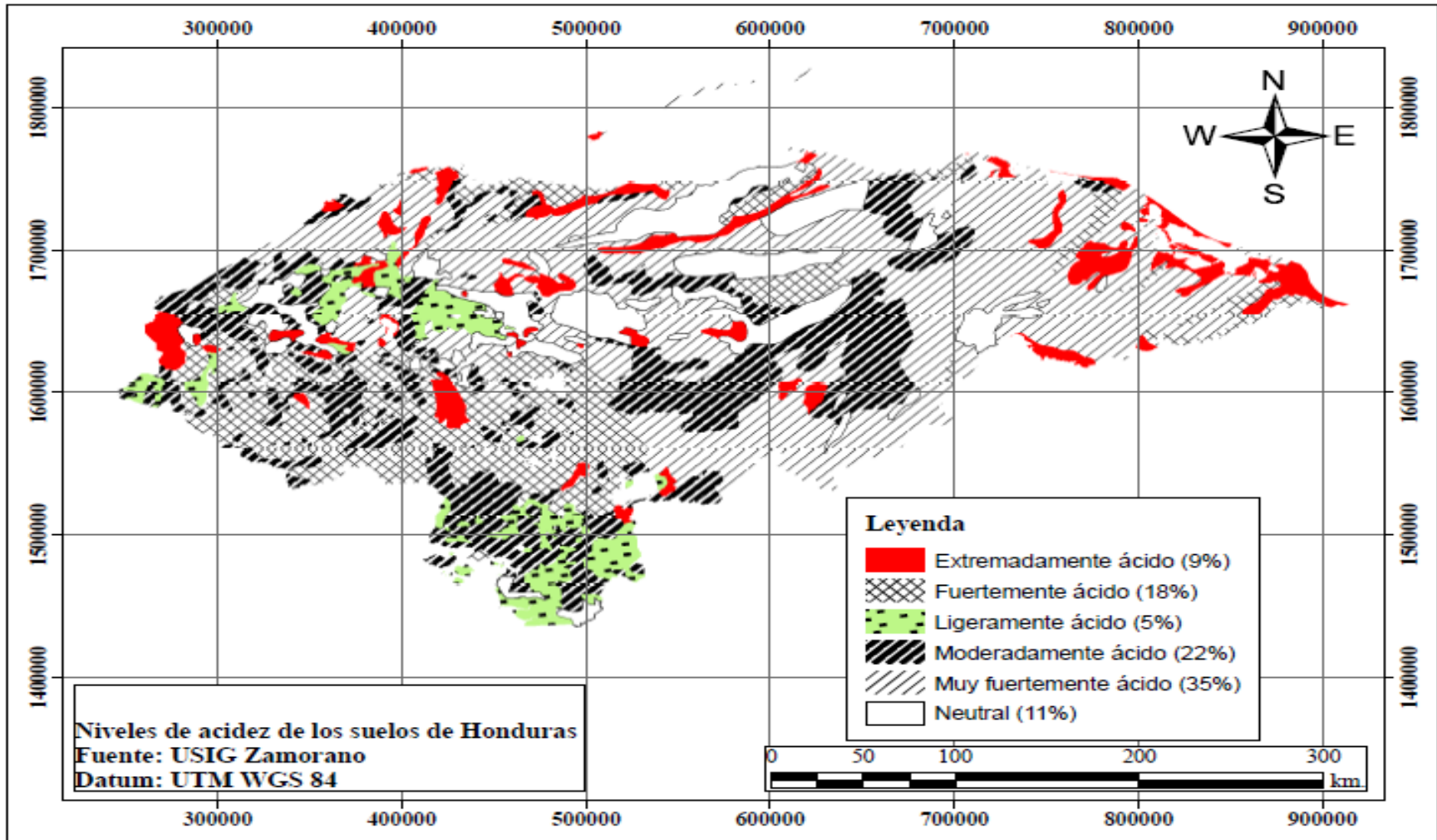


Figura 8. Mapa de niveles de acidez de los suelos de Honduras.
 Fuente: (Arévalo et al. 2014). Adaptado por el autor.

La materia orgánica en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

La materia orgánica al descomponerse aporta una serie de compuestos químicos (proteínas y aminoácidos orgánicos e hidratos de carbono simples), los cuales son absorbidos por la planta, mejorando así las estructuras del suelo y el desarrollo vegetativo. Se deben implementar prácticas de manejo de suelo debido a que el contenido de nitrógeno y fósforo en el suelo están en relación al porcentaje de materia orgánica. La materia orgánica en el cultivo de cacao regulariza los niveles de disponibilidad de nutrientes, mejora la infiltración, reduce la pérdida de agua por evaporación, mejora el drenaje, mayor desarrollo de raíces, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aumenta la actividad biológica y mejora la estructura del suelo (Bot y Benites 2005).

La materia orgánica del suelo es considerada un indicador de la salud del suelo, tiene gran importancia en las propiedades físicas, químicas y biológicas. El contenido de materia orgánica en los suelos de Honduras oscila en un rango de 2.4 hasta 5.4 %, según la región (Figura 9).

Los valores más bajos de materia orgánica se encontraron en los suelos de Atlántida, Colón y Gracias a Dios (región 1) y Choluteca y Valle (región 5) independiente del pH, donde se encontró menos del 3%. Los mayores porcentajes de materia orgánica están en los departamentos de Olancho, Yoro, Copán, Lempira, Ocotepeque, Comayagua, Francisco Morazán, La Paz, El Paraíso y Santa Bárbara (Figura 9).

En los suelos de los departamentos de Olancho, Yoro (Región 2), Copán, Lempira y Ocotepeque (Región 3) el porcentaje de materia orgánica no presentó diferencia al subir el nivel de acidez, lo que concuerda con Chávez Ávila (2015). Los suelos de esta región se encuentran dentro del rango recomendado por FHIA quienes considera que en los suelos dedicados al cultivo del cacao el porcentaje de materia orgánica debe ser de 3 a 5%.

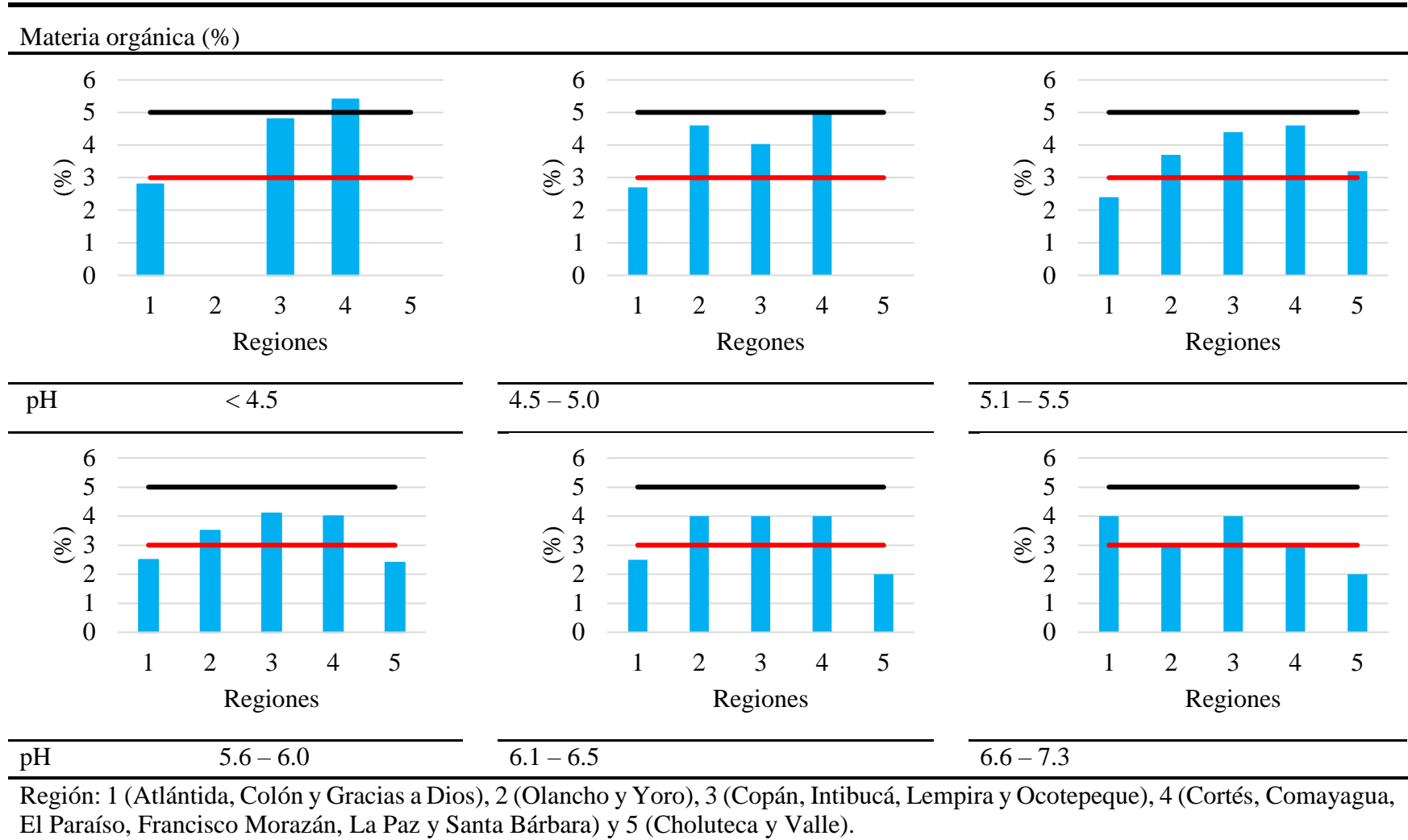


Figura 9. Estado de la materia orgánica en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

Niveles de nitrógeno de los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

El porcentaje de nitrógeno total en los suelos de Honduras, está determinado por el porcentaje de materia orgánica. Los valores para la capa arable oscilan entre 0.1 a 0.29% (Figura 10), la deficiencia de este elemento en los suelos potenciales para cacao se debe a que el nitrógeno se pierde fácilmente por lavado, volatilización, lixiviación (Fassbender y Bornemisza 1987).

Debido al bajo porcentaje de materia orgánica en los suelos de Atlántida, Colón y Gracias a Dios (región 1) y Choluteca y Valle (región 5), el porcentaje de nitrógeno en los suelos se encuentra en niveles bajos (Figura 10). En las demás regiones se presenta deficiencia de nitrógeno, cuando el porcentaje de materia orgánica es menor de 4% en los suelos de Honduras. En general, el aumento de materia orgánica en el suelo produce un incremento en los valores de nitrógeno (FAO 2013).

Niveles de fósforo en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

El fósforo es extremadamente importante en las reacciones de energía de la planta y en fortalecer el sistema radicular del cacao (IFA 2002). El fósforo es uno de los nutrientes que se encuentra limitante en los suelos de Honduras debido a que la mayoría de los suelos presentan pH ácidos.

El contenido de fósforo en el suelo está en relación al pH del mismo: a pH menores a 5.5, menor es el contenido de fósforo total, además el fósforo es fijado por óxidos e hidróxidos de Al, Fe y Mn en suelos ácidos y por calcio en suelos alcalinos lo cual afecta su disponibilidad (PPI 1988).

En los suelos de Atlántida, Colón y Gracias a Dios (región 1) es donde se encontraron los niveles más bajos de fósforo. En los departamentos de Copán, Lempira, Ocotepeque, Comayagua, Francisco Morazán, La Paz, El Paraíso y Santa Bárbara (región 4) son suelos originados a partir de cenizas volcánicas con una alta capacidad fijadora de este nutriente (Fassbender y Bornemisza 1987), por lo cual los niveles de fósforo son bajos. Cabe anotar que a medida que aumenta el pH, lo hace también el contenido de fósforo, siendo más notario en los suelos de Olancho y Yoro (región 2) y Cortés (Región 4), donde el nivel de fósforo alcanza valores cercanos a 20 mg. kg⁻¹ cuando el pH es mayor de 6.6 (Figura 11).

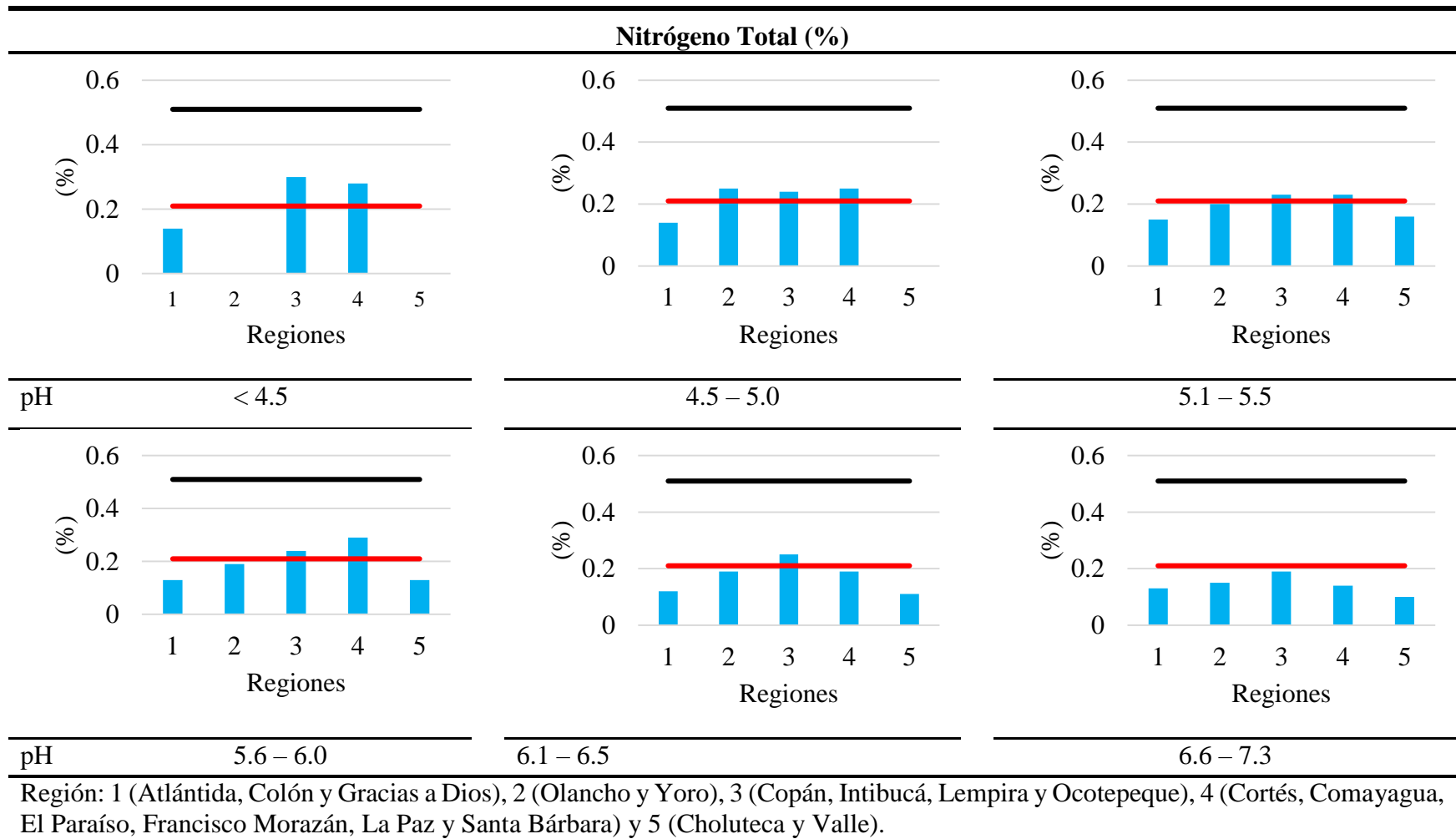


Figura 10. Niveles de nitrógeno en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

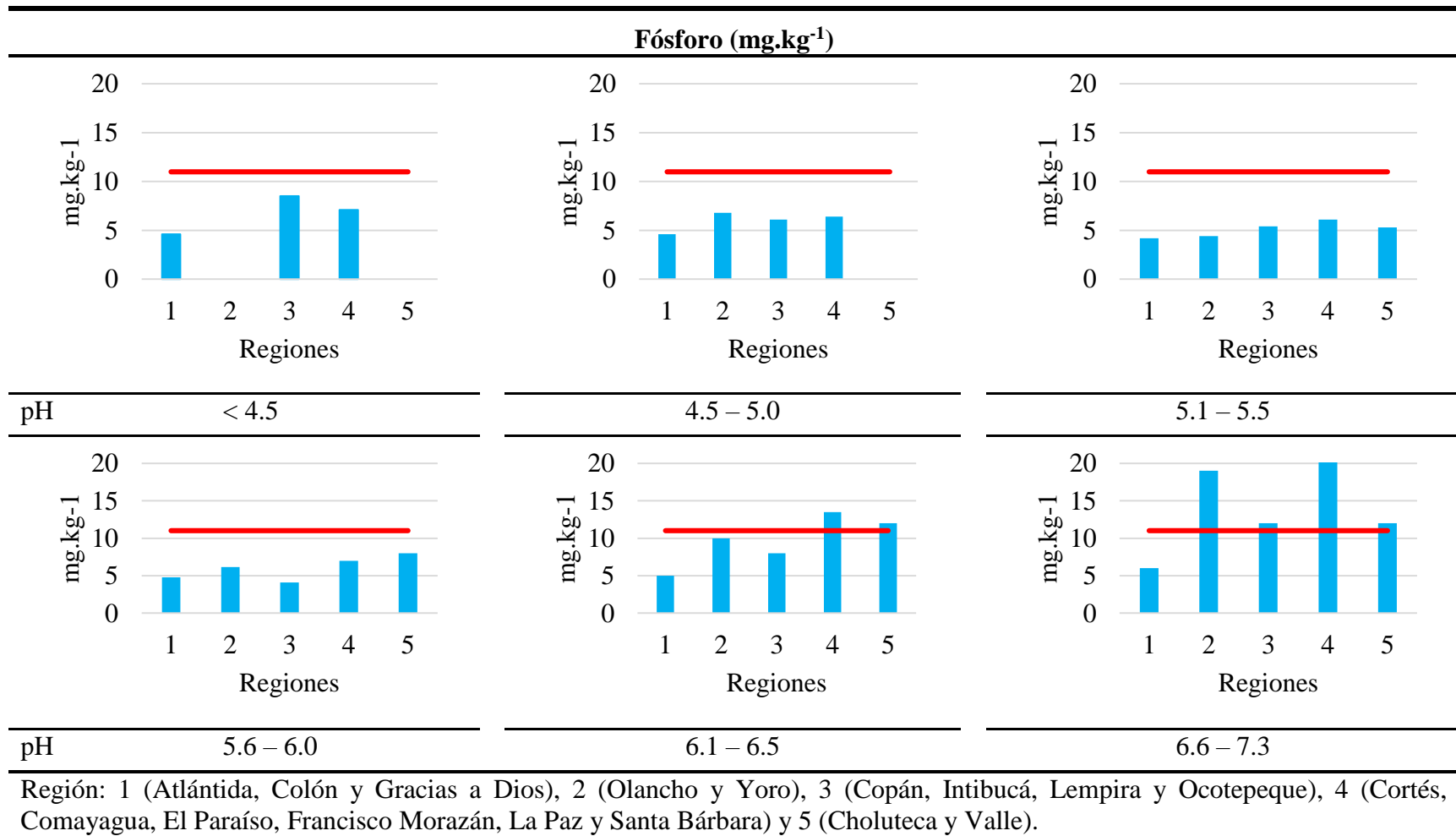


Figura 11. Niveles de fósforo de los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

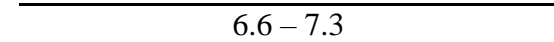
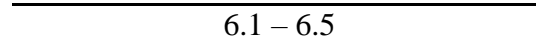
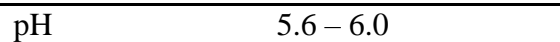
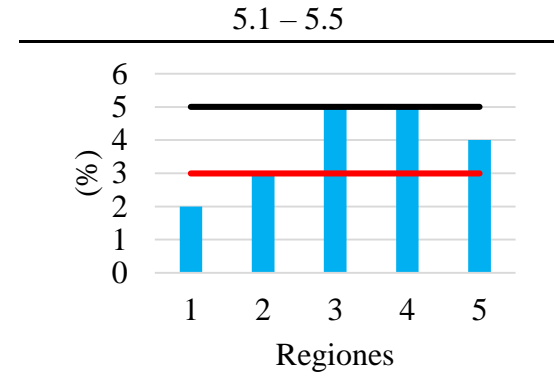
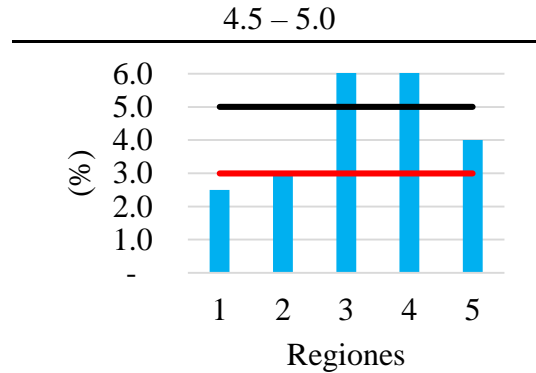
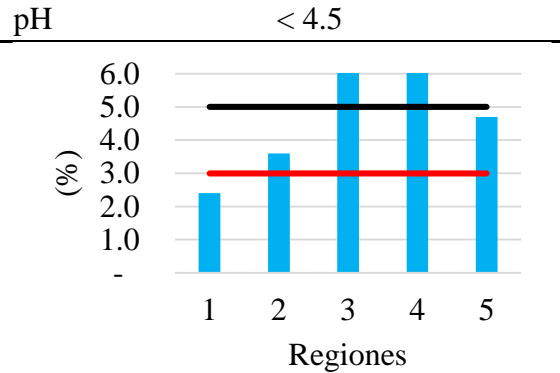
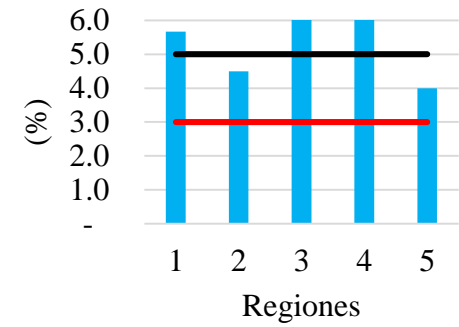
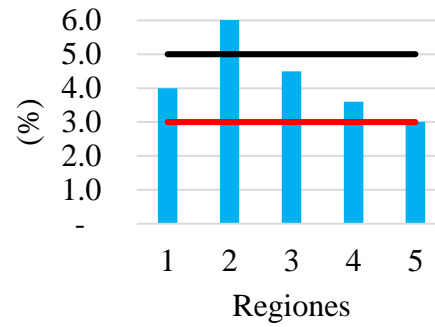
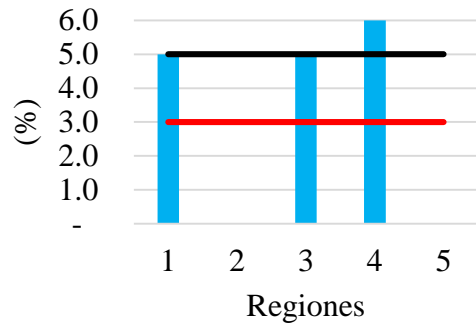
Estado de potasio, expresado como porcentaje de saturación en relación a la reacción del suelo (pH). El elemento que más consume la planta de cacao es el potasio, debido que regula una serie de funciones fisiológicas como la respiración, la fotosíntesis, la formación de clorofila y la regulación del movimiento de agua, además alivia el estrés de la planta, aumenta el peso de la fruta y disminuye efecto de enfermedades como lo indica IFA (2002).

El contenido de potasio en los suelos de Honduras varía de acuerdo al material parental y pH, en los departamentos de Atlántida, Colón y Gracias a Dios (región 1) y Olancho y Yoro (región 2) presentan el menor contenido de K (menor de 3%). A pH menores de 5.0 los suelos, muestran saturación de potasio mayor a 3 % con nivel de suficiencia, pero a medida que aumenta el pH, disminuye el potasio disponible. Esto debido al incremento de calcio.

En los suelos de Copán, Lempira y Ocotepeque (región 3) el contenido de potasio en el suelo es alto, debido a que la CIC y saturación de bases en el suelo es bajo, lo que hace subir los niveles de potasio en el suelo y lo cual coincide con Chávez Ávila (2015).

En los suelos de Cortés, Comayagua, Francisco Morazán, La Paz, El Paraíso y Santa Bárbara (región 4) el contenido de potasio en el suelo es de medio a alto, debido a que los suelos de esta región, se consideran suelos más ricos en nutrientes, ya que por su origen mineralógico predominan las bases (Ca, Na, Mg, K) (CIAT 1999). Mientras que, en los suelos de Choluteca y Valle (región 5) el contenido de potasio en el suelo está en el rango medio; esto se debe a su material parental (IGN 1991).

Saturación de Potasio (%)



Región: 1 (Atlántida, Colón y Gracias a Dios), 2 (Olancho y Yoro), 3 (Copán, Intibucá, Lempira y Ocotepeque), 4 (Cortés, Comayagua, El Paraíso, Francisco Morazán, La Paz y Santa Bárbara) y 5 (Choluteca y Valle).

Figura 12. Estado de potasio, expresado como porcentaje de saturación en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

Estado de calcio, expresado como porcentaje de saturación en relación a la reacción del suelo (pH). El calcio es un elemento esencial en la planta de cacao, debido a que estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas, forma compuestos de las paredes celulares, ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta y en la formación y llenado del fruto (ICA 2012). En los suelos de Honduras, el calcio y magnesio presentan un comportamiento muy parecido debido a la similitud que tienen en las propiedades químicas y en el comportamiento de sus ciclos biogeoquímicos (Fassbender y Bornemisza 1987).

El contenido de calcio está directamente relacionado con el pH del suelo, al subir el pH, se encuentra un mayor contenido de calcio y magnesio (Foth 1985). En los suelos de Honduras, a pH menores de 5.6 se presentan niveles bajos de calcio, lo que coincide con Chávez Ávila (2015).

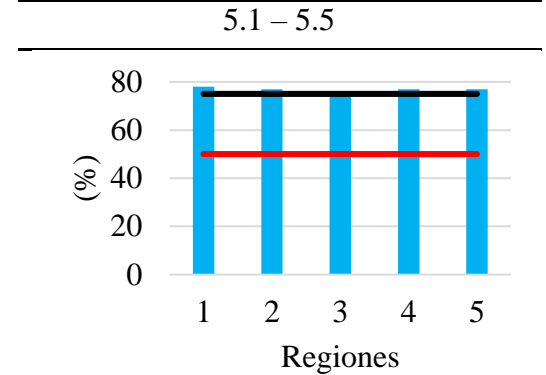
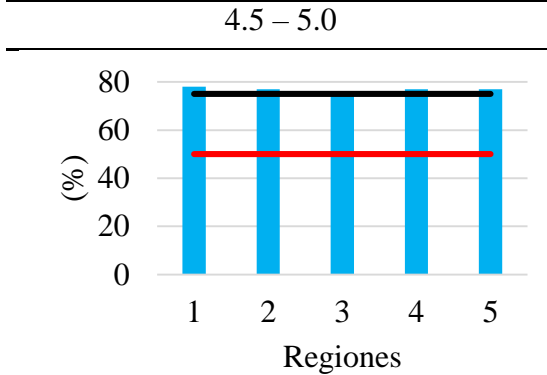
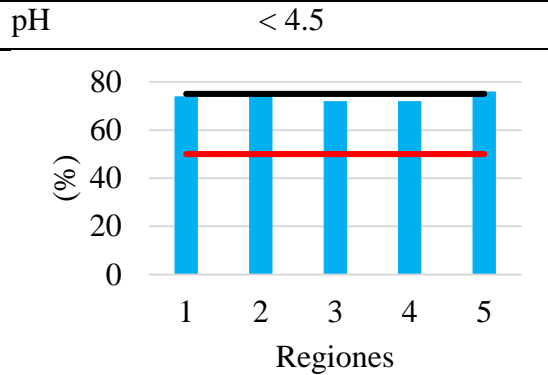
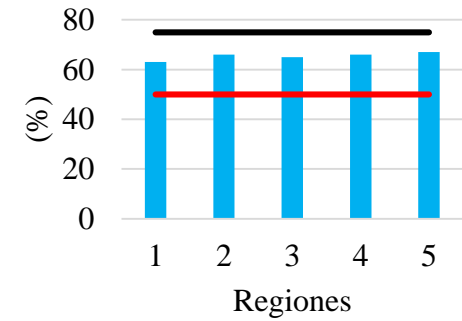
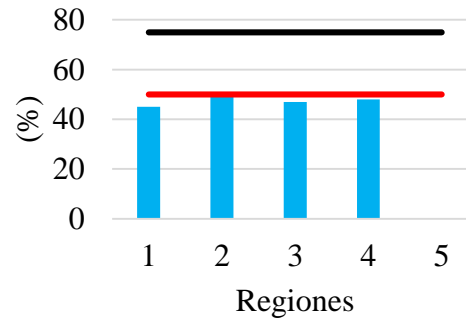
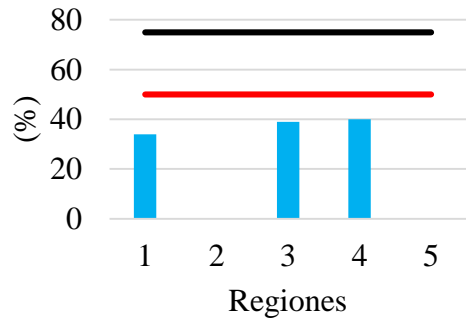
En los suelos de Atlántida, Colón y Gracias a Dios (región 1), son bajas en calcio a pH debajo de 5.0. En los suelos de Olancho y Yoro (región 2), el contenido de calcio en el suelo está directamente relacionado con el nivel de acidez. De los análisis químicos analizados, 15 % de las muestras fueron categorizadas como bajas en calcio, 81% se encuentran en rango medio y únicamente un 5% están en la clasificación de alta. Como se observa el 81% de las muestras presentaron rangos normales de 50 a 75 % de saturación de calcio, esto se debe a que en esta región los suelos son de los órdenes Kastanozems, Chernozems y Fluvisol (Arévalo et al. 2014), los cuales contienen altos niveles de bases.

En los suelos de Copán, Lempira y Ocotepeque (región 3), el 33% de los análisis químicos fueron categorizados como bajos en saturación de calcio, 62% se encuentran en el rango medio; a pesar que más de la mitad de los análisis químicos están en el rango medio, la saturación de calcio encuentra desbalanceada. Esto se debe a que son suelos formados a partir de cenizas volcánicas y forman parte del grupo Padre Miguel (IGN 1991), al bajar los niveles de acidez en el suelo, hay un incremento en el porcentaje de saturación de calcio, lo que coincide con Chávez Avila (2015).

En los suelos de Cortés, Comayagua, Francisco Morazán, La Paz, El Paraíso y Santa Bárbara (región 4), el calcio llega a niveles altos de 85% de saturación (Región 3), el 46% de los análisis presentaron deficiencia, mientras que 36% de los análisis químicos se encuentran dentro del rango medio y 1% de las muestras fueron clasificadas como altas.

Los niveles bajos de calcio se deben a que son suelos de origen volcánicos ácidos. Se establece que existe una relación entre pH del suelo y saturación de calcio. A mayor acidez en el suelo, menor es la saturación de calcio. Se observa que los departamentos de Choluteca y Valle (región 5) son los que presentan mayores porcentajes de saturación de calcio, debido a que, son suelos derivados de basaltos y del orden Vertisoles que tienen un alto contenido de nutrientes (Arévalo et al. 2014).

Saturación de Calcio (%)



pH 5.6 - 6.0

pH 6.1 - 6.5

pH 6.6 - 7.3

Región: 1 (Atlántida, Colón y Gracias a Dios), 2 (Olancho y Yoro), 3 (Copán, Intibucá, Lempira y Ocotepeque), 4 (Cortés, Comayagua, El Paraíso, Francisco Morazán, La Paz y Santa Bárbara) y 5 (Choluteca y Valle).

Figura 13. Estado de calcio, expresado como porcentaje de saturación en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

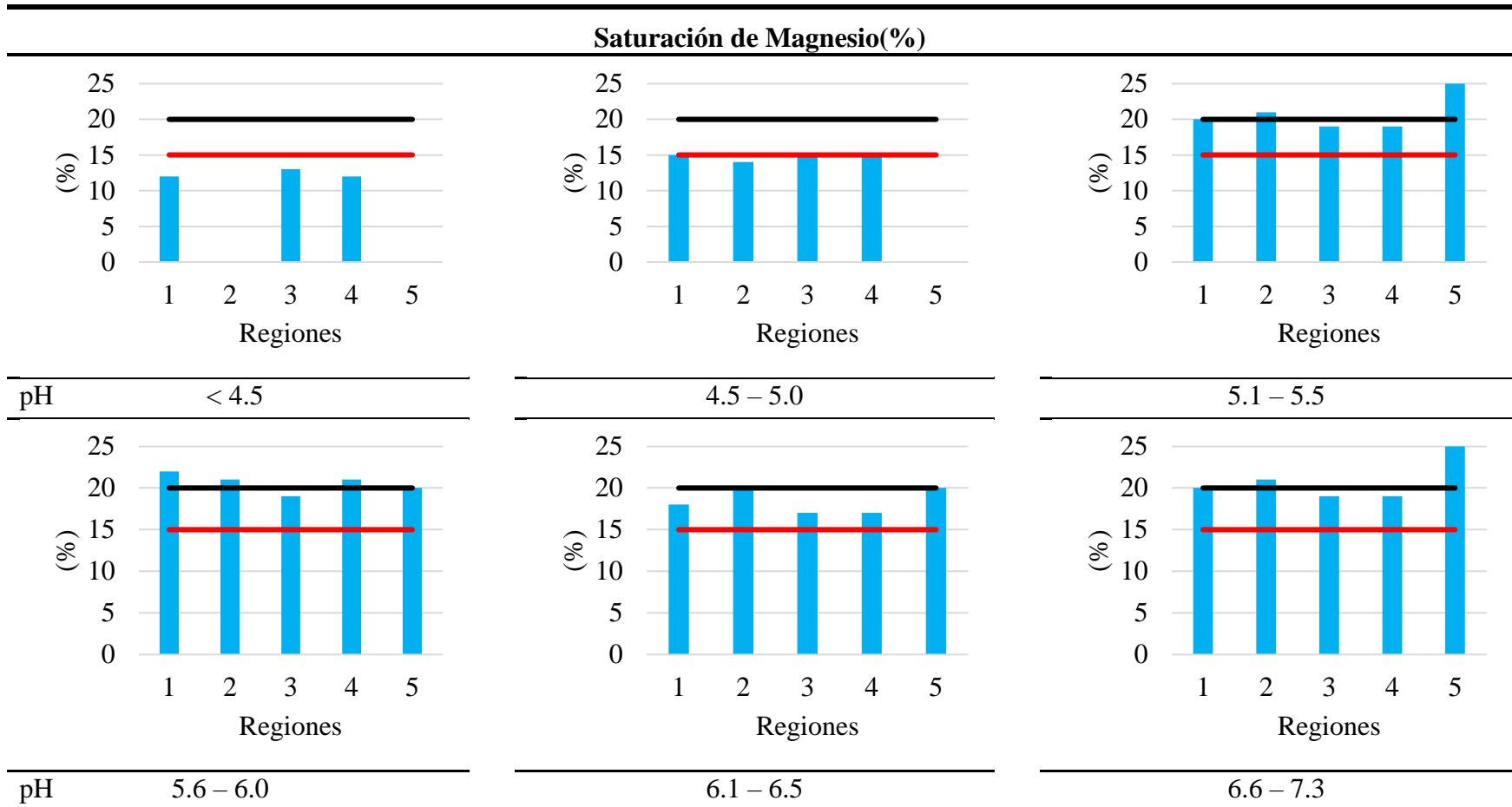
Estado de Magnesio, expresado como porcentaje de saturación en relación a la reacción del suelo. El contenido de magnesio está directamente relacionado con el pH del suelo, al subir el pH, sube los niveles de magnesio en el suelo (FAO 2013). En los suelos de Honduras, a pH menores de 5.0 se presentan niveles bajos de magnesio.

En los suelos de Atlántida, Colón y Gracias a Dios (Región 1), el 39% de las muestras fueron clasificadas como altas en magnesio, 27%, las muestras presentaron saturación media de este elemento, mientras que un 34% de los suelos presentaron deficiencia. A pH menores a 5.0 se presentaron bajos niveles de saturación de magnesio, a pH de 5.1 hacia arriba la saturación de magnesio va incrementado de acuerdo al pH del suelo, lo que concuerda con Chávez Avila (2015).

En los suelos de Olancho y Yoro (Región 2), 20% de las muestras fueron clasificadas como bajas en magnesio, 23% se encuentran en rango medio y un 57% de las muestras presentaron altos niveles de magnesio. Como se observa, el 57% de las muestras presentaron saturación de magnesio mayor de 20%; debido principalmente a su material parental y pertenecen al orden Kastanozems, que contiene altas saturación de bases (Arévalo et al. 2014).

En los suelos de Cortés, Comayagua, Francisco Morazán, La Paz, El Paraíso y Santa Bárbara (Región 4), la saturación de magnesio no presenta una relación al subir el pH del suelo, se debe a que son suelos formados a partir de cenizas volcánicas (IGN 1991). Mientras que, en los suelos de Copán, Lempira y Ocotepeque (Región 3), el 39% de las muestras presentaron niveles bajos de saturación de magnesio.

En los suelos de Choluteca y Valle (Región 5), es donde se encontraron los mayores porcentajes de saturación de magnesio, ya que son suelos formados a partir de aluviones de origen sedimentarios (IGN 1991) y dominan suelos clasificados en el orden de Vertisoles (Arévalo et al. 2014).



Región: 1 (Atlántida, Colón y Gracias a Dios), 2 (Olancho y Yoro), 3 (Copán, Intibucá, Lempira y Ocotepeque), 4 (Cortés, Comayagua, El Paraíso, Francisco Morazán, La Paz y Santa Bárbara) y 5 (Choluteca y Valle).

Figura 14. Estado de Magnesio, expresado como porcentaje de saturación en los suelos de Honduras en relación a la reacción del suelo (pH).

Propuesta de programa de fertilización.

Programa de fertilización. La limitación principal que presentan los suelos de Honduras es la baja fertilidad natural, por lo que se debe ajustar la acidez del suelo antes de iniciar un programa de fertilización, dado a que afecta de manera directa en la disponibilidad y la absorción de los nutrientes y el crecimiento de la planta (Enríquez 1985).

Se hace una propuesta de aplicación de nutrientes basado en el nivel de cada elemento en el suelo y la edad del cultivo de la planta (Cuadro 7, 8, 9). Debe aplicarse por planta cuando el nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo es bajo, medio o alto. Los datos expuestos pretenden ayudar al agricultor a tomar decisiones, sin embargo, esta podría ser modificado con mayor conocimiento de las propiedades químicas y morfológicas de los suelos.

Cuadro 7. Propuesta de fertilización del cultivo de cacao en diferentes edades, para nutrientes de contenido bajo en el suelo.

Edad años	g / planta/ año		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0 - 1	30	20	35
1 - 2	40	24	65
2 - 3	55	30	85
3 - 4	75	38	96
Mayor 4	90	45	115

Cuadro 8. Propuesta de fertilización del cultivo de cacao en diferentes edades, para nutrientes de contenido medio en el suelo.

Edad años	g / planta/ año		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0 - 1	21	11	17
1 - 2	38	13	33
2 - 3	54	15	42
3 - 4	65	19	49
Mayor 4	76	28	67

Cuadro 9. Propuesta de fertilización del cultivo de cacao en diferentes edades, para nutrientes de contenido alto en el suelo.

Edad años	g / planta/ año		
	N	P₂O₅	K₂O
0 - 1	12	6	17
1 - 2	19	6	25
2 - 3	34	8	35
3 - 4	46	13	42
Mayor 4	57	16	50

La determinación del nivel bajo, medio o alto de cada nutriente en el suelo se debe basar en análisis químicos de cada lote donde se pretende sembrar o se siembre cacao. La selección de los fertilizantes a usar dependerá de la necesidad de cada elemento y el balance de nutrientes en cada fertilizante.

4. CONCLUSIONES

- Honduras es un país que presenta 10.30 % del área total con condiciones edafo-climáticas para el cultivo de cacao y los datos analizados permiten identificar las áreas aptas para su cultivo. La mayoría se encuentra en la Costa Norte (Este y Oeste) y en el Occidente del país.
- El 84 % de los suelos en Honduras presentan pH moderadamente ácido o menor (<6.0) lo que es necesario el encalado para incrementar la fertilidad del suelo y para prevenir fitotoxicidad de aluminio. El contenido de potasio, calcio y magnesio en el suelo, está relacionado con el pH del suelo. Las regiones con menor contenido de bases corresponden a los suelos más ácidos. El fósforo es el elemento en bajo contenido en todo el territorio. Hay una relación entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno disponible.
- Los datos analizados permiten proponer programas de fertilización para N, P y K en las áreas identificadas como potencialmente aptas para el cultivo.

5. RECOMENDACIONES

- La selección de sitios para la siembra de cacao se debe hacer con base en un estudio de suelos y análisis del clima del sitio e incluir análisis de micronutrientes.
- En áreas con pendientes mayores al 4% se deben construir estructuras de conservación de suelos.
- Una vez establecido el cultivo, se debe manejar la fertilidad con análisis químicos de suelos y una vez se dé la primera cosecha, se deben tomar en adición análisis foliares.
- Seguir el plan de manejo agro-forestal recomendado por FHIA.

6. LITERATURA CITADA

- Alfaro Mora M. 2013. Plan de negocios para el desarrollo de la actividad cacaotera en Costa Rica, para la Empresa Plantas y Flores Ornamentales S.A. [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Hondura. 47 p.
- Arévalo GE, Gauggel CA. 2015. Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras. 1ra. Edición. Pág. 91.
- Arévalo G, Gauggel C, Brito R, Sarmiento G, Manueles M. 2014. Los suelos de Honduras. XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo, noviembre 2014. Perú: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.
- Arévalo ZY, Corrales Ramírez LC, Moreno Burbano VE. 2014. Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. NOVA
- Barettino D, Loredo J, Pendás F. 2005. Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones. Buenos Aires (Argentina): Instituto Geológico y Minero de España; [consultado 2017 agosto 25]. <http://site.ebrary.com/lib/bvuzamoranosp/reader.action?docID=10565649>
- Barrientos GN. 2013 dic 16. Cacaoteros hondureños cuadruplican su parque de producción. La prensa; [consultado 2017 ago 15]. <http://www.laprensa.hn/economia/laeconomia/431200-98/cacaoteros-hondurenos-cuadruplican-su-parque-de-produccion>
- Batista L. 2009. Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. (CEDAF). [consultado 2016 marzo 09]. <http://www.cedaf.org.do/>.
- Bot A, Benites J. 2005. The importance of soil organic matter Key to drought-resistant soil and sustained food production [internet]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). [consultado 2017 jul 20]. <http://www.fao.org/3/a-a0100e.pdf>
- Chávez Amaya O, Chafra Granda J. 2009. Plan de negocios para la exportación de cacao (Theobroma cacao) orgánico al mercado europeo, producido bajo un sistema de agroforestal en Catacamas, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 106 p.

- Chávez Avila R. 2015. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 22 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1999. Suelos de Honduras clasificación - FAO. Edición: V.1. Escala 1:500000. <http://gisweb.ciat.cgiar.org/Mitch/index.htm>
- Dubón A, Sánchez J. 2016. Manual de Producción de Cacao. 2da ed. La Lima, Cortés (Honduras); FHIA.
- Enríquez GA. 1985. Curso sobre el cultivo de cacao. Turrialba (Costa Rica): Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 239 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. [internet]. Antioquía, Colombia; [consultado 2017 ago. 25]. <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Año Internacional de los Suelos. [internet]. [consultado 2017 ago. 21]. <http://www.fao.org/honduras/noticias/detail-events/en/c/281187/>
- Fassbender HW, Bornemisza E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2nd ed. San José (Costa Rica): Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. xiii. 420 p.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2016. Comprometidos con el sector agrícola de Honduras [internet]. La Lima, Cortés: FHIA; [consultado 2017 mar 18]. http://www.fhia.org.hn/downloads/fhia_informa/fhia_informa_marzo_2016.pdf.
- Foth HD. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. México. Tercera edición. Talleres de la compañía editorial continental, S. A. de C. V. 209 P.
- Gauggel C. 2003. Índices de calidad de suelos para las propiedades morfológicas, físicas y químicas, Zamorano, Honduras. Inédito 7 p.
- Hardy F. 1961. Manual de cacao. San José (Costa Rica): Editorial Antonio Lehmann; [consultado 2017 feb 10]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8425e/A8425e.pdf>
- Herrera J, Martínez A, Gonzáles I. 2006. Condiciones de fertilidad de suelo en zonas productoras de granos básicos de honduras y recomendaciones de fertilización. La Lima, Cortés: FHIA; [consultado 2017 agosto 14]. http://www.fhia.org.hn/downloads/lab_quimico_agricola_pdfs/Condiciones_de_fert_suelos_honduras.pdf

- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) [internet]. Bogotá D.C. Colombia. [consultado 2017 ago 2]. <https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>
- IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes). 2002. Los fertilizantes y su uso [internet]. Paris: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); [consultado 2017 sep 20]. <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) (1982). Estudio general de suelos de la región nororiental del departamento del Cauca. Bogotá, Colombia.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). 1991. Mapa geológico de Honduras. Segunda edición. Escala 1:500000. <http://gisweb.ciat.cgiar.org/Mitch/biofisica/geologia.htm>
- IMCO (Instituto Mexicano para la Competitividad A.C) 2015. Principales países productores de cacao [internet]. México. [consultado 2016 ago 02]. <http://www.imco.mx/elcacaoenelmundo/>
- Mikhailova EA. 1995. Predicting Rainfall Erosivity in Honduras [Tesis]. Universidad de Cornell - Estados Unidos. 36 p.
- Oliva Escobar DP. 2009. Determinación de la acidez intercambiable (AL^*3+H^*) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 28 p.
- Paredes Arce M. 2003. Manual de cultivo del cacao [internet]. Perú: Ministerio de Agricultura. Programa para el Desarrollo de la Amazonia (Proamazonia); [consultado 2017 ene 24]. <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/215.pdf>
- Pérez Castellanos RJ. 2016. Determinación de la necesidad de cal en los suelos agrícolas de Zamorano, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 35 p.
- Porta J, López Acevedo M, Poch RM .2014. Edafología: Uso y protección de suelos. 3ª ed. rev. ampl. Madrid: Mundi-Prensa. 607 p.
- PPI (The Potash & Phosphate Institute). Manual de Fertilidad de los suelos. 1988. Engineering Drive, Suite 110, Norcross, Georgia. 85 p.
- Proceso Digital. 2016 ago 14. Honduras aspira a convertir la producción de cacao en una gran industria. Proceso Digital; [consultado 2017 abril 25]. <http://www.proceso.hn/actualidad/item/129628-honduras-aspira-a-convertir-la-produccion-de-cacao-en-una-gran-industria.html>.

Simmons CS. 1964. Los suelos de Honduras [Internet]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). [consultado 2017 marzo 2017]. <http://www.fao.org/docrep/field/009/ar884s/ar884s.pdf>.

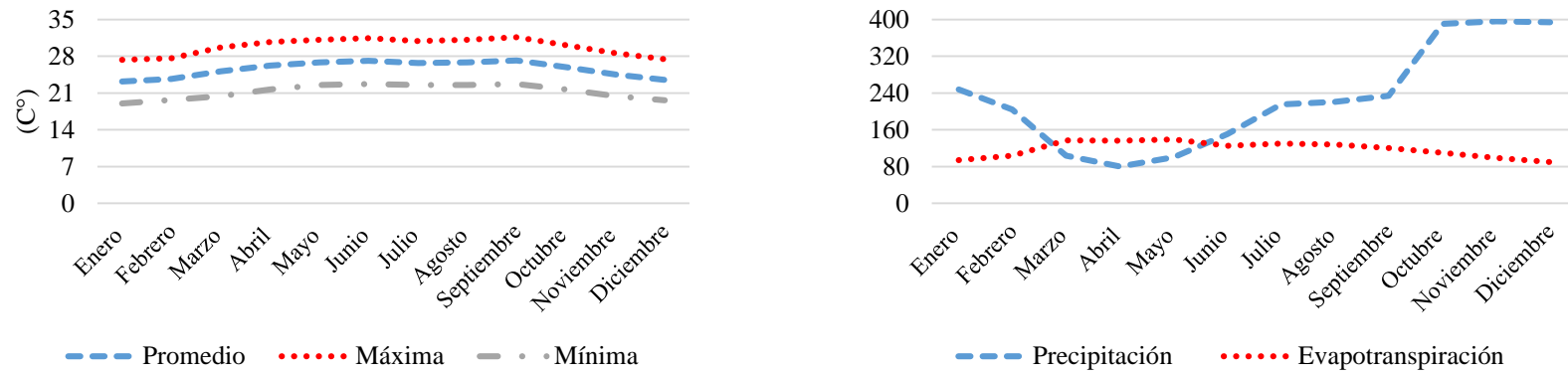
USDA (United States Department of Agriculture). 1999. Liming To Improve Soil Quality in Acid Soils. Vol. 100. 178-181p.

Vázquez M. 2013. Acidez del suelo y necesidad del encalado [internet]. [consultado 2017 ago 21]. http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/28268/mod_resource/content/2/Acidez%20del%20suelo%20y%20necesidad%20de%20encalado.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1a. Variaciones mensuales de la temperatura, evapotranspiración y precipitaciones en las regiones estudiadas.

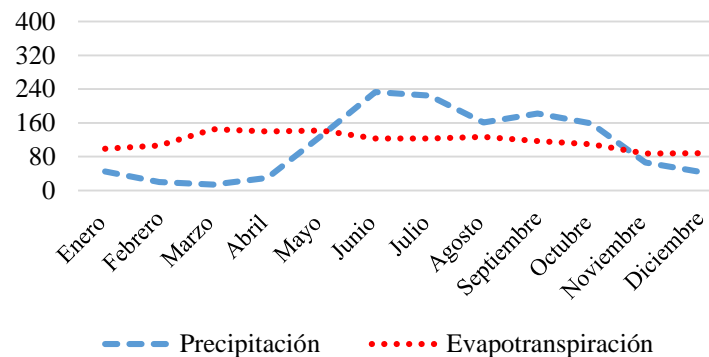
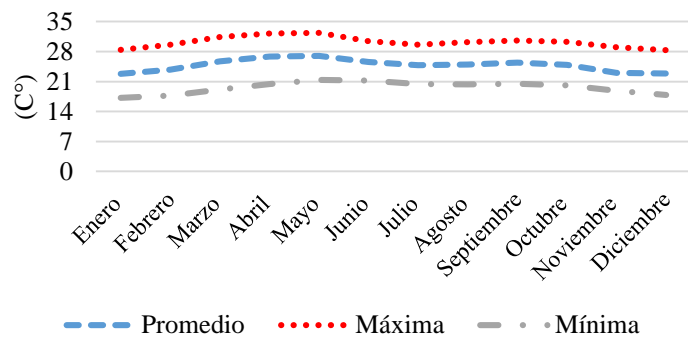
Atlántida, Colón y Gracias a Dios (Región 1)



Coordenadas: x (154300), y (872900)

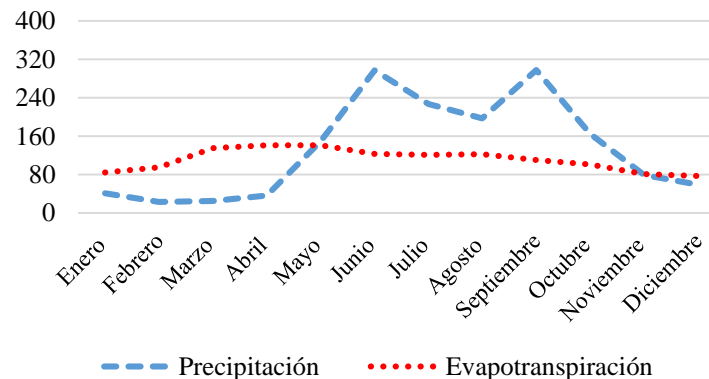
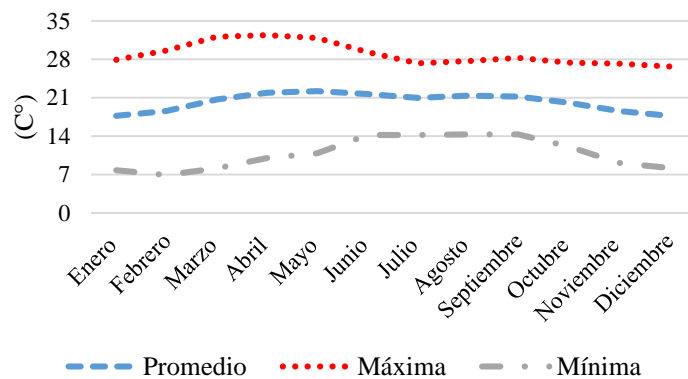
Anexo 2b. Variaciones mensuales de la temperatura, evapotranspiración y precipitaciones en las regiones estudiadas.

Olancho y Yoro (Región 2)



Coordenadas: x (145400), y (855600)

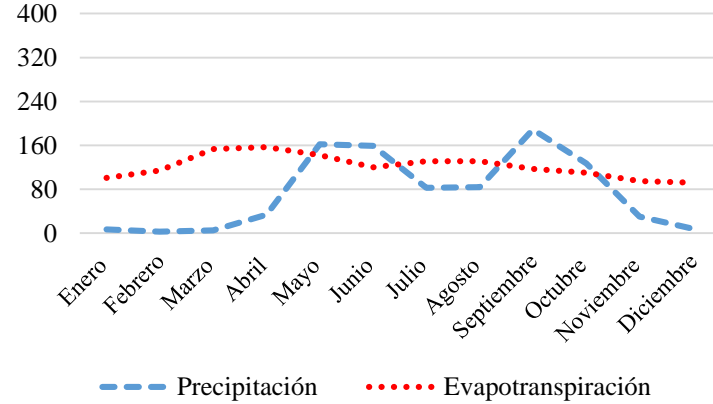
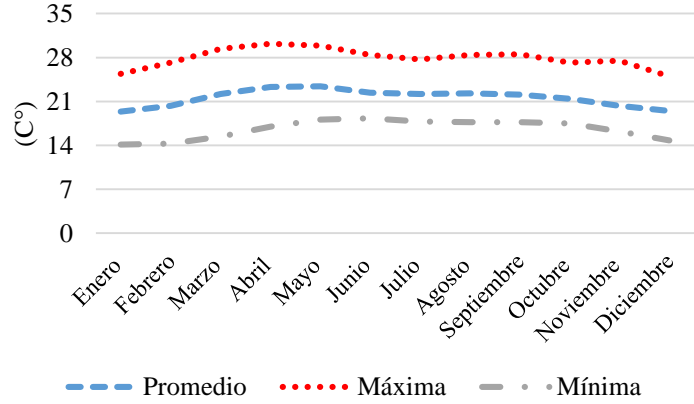
Copán, Intibucá, Lempira y Ocotepeque (Región 3)



Coordenadas: x (145400), y (855600)

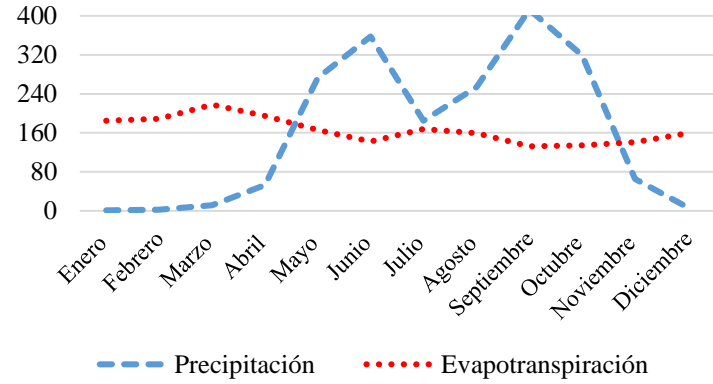
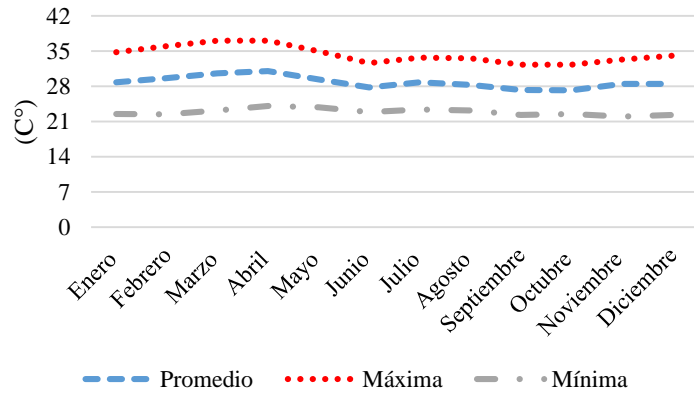
Anexo 3c. Variaciones mensuales de la temperatura, evapotranspiración y precipitaciones en las regiones estudiadas.

Cortés, Comayagua, El Paraíso, Francisco Morazán, La Paz y Santa Bárbara (Región 4)



Coordenadas: x (140300), y (871300)

Choluteca y Valle (Región 5)



Coordenadas: x (131800), y (871200)

Fuente: Mikhailova. 1995.