

## Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano\*

### Productivity and profit potential of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Mexican tropics

José Antonio Espinosa-García<sup>1§</sup>, Jesús Uresti-Gil<sup>2</sup>, Alejandra Vélez-Izquierdo<sup>1</sup>, Georgel Moctezuma-López<sup>3</sup>, Héctor Daniel Inurreta-Aguirre<sup>2</sup> y Sergio Fernando Góngora-González<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal-INIFAP. Carretera a Colón km 1, C. P. 76190. Ajuchitlán, Querétaro. México. Tel: 01 419 2920249. (espinosa.jose@inifap.gob.mx; velez.alejandra@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5. C. P. 94270. Medellín de Bravo, Veracruz. México Tel: 01 229 2622200. (uresti.jesus@inifap.gob.mx; inurreta.daniel@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales-INIFAP. Av. Progreso No. 5, Barrio Sta. Catarina. Delegación Coyoacán, C. P. 04010, México, D. F. Tel: 01 55 36268700. (moctezuma.georgel@inifap.gob.mx). <sup>4</sup>Campo Experimental Mococho-INIFAP. Carretera Mérida- Motul. C. P. 97454, Mococho, Yucatán. México. Tel: 01 9919162215. (gongora.sergio@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: espinosa.jose@inifap.gob.mx.

## Resumen

Con el objetivo de identificar el potencial productivo del cultivo del cacao a nivel de unidad de respuesta hidrológica (URH), cuenca y estado, considerando el rendimiento y la relación beneficio costo (R B/C), se realizó este trabajo, en los principales estados productores del Trópico Húmedo de México. Para ello se simuló y cartografió el rendimiento potencial de biomasa aérea total y grano de cacao en 9 estados del Sur-sureste de México y se identificaron las áreas con mayor potencial para el cultivo. Asimismo, se estimaron los costos de establecimiento, de producción e ingresos del paquete tecnológico y se evaluó la rentabilidad financiera del cultivo para cada región identificada. Los resultados muestran que el cultivo de cacao es rentable cuando se produce más de 770 kg de grano por ha. Se identificaron 223 000 ha con potencial para producir cacao, ubicadas en Veracruz, Puebla, Oaxaca y Chiapas, siendo la región de Veracruz la que presentó el mayor rendimiento (1.12 t ha<sup>-1</sup>) y una R B/C de 1.42. Se concluye que los rendimientos medios de cacao e indicadores de rentabilidad estimados permiten ubicar regiones con potencial para incrementar la superficie, la producción y la competitividad actual de este cultivo.

## Abstract

In order to identify the productive potential of cocoa at hydrologic response unit (HRU), basin and state level, considering performance and benefit-cost ratio (R B/C), this work was carried out in the major producing states from the Humid Tropics of Mexico. For it was simulated and mapped, yield potential of total aboveground biomass and cocoa beans in 9 states of south- southeast Mexico and identified the areas with higher crop potential. Also, establishment costs, production costs and revenues of the technology package were estimated and evaluated the financial profitability of the crop for each region. The results show that cocoa is profitable when more than 770 kg of grain per ha are produced. 223 000 ha with potential to produce cocoa were identified in Veracruz, Puebla, Oaxaca and Chiapas, being Veracruz the region with highest yield (1.12 t ha<sup>-1</sup>) and a R B/C of 1.42. It is concluded that the average yields of cocoa and estimated profitability indicators allow locating regions with potential to increase acreage, production and the current competitiveness of this crop.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L., economic potential, humid tropics, productive potential.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao* L., potencial productivo, potencial económico, Trópico Húmedo.

## Introducción

El trópico mexicano presenta condiciones agroecológicas apropiadas para el desarrollo de cultivos perennes, como el cacao (*Theobroma cacao* L.), especie tropical de la familia Sterculiaceae que se distribuye en forma natural en los estratos medios de las selvas cálidas húmedas del hemisferio occidental, entre 18° latitud norte (los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, en México) y 15° LS (Brasil y Bolivia), y desde 0 hasta 1000 msnm (Cuatrecasas, 1964), en México se produce principalmente en los estados de Tabasco y Chiapas. Tanto la superficie sembrada como la producción de cacao ha disminuido al pasar de 75 356 ha y 36 360 t en 1980 a 64 143 ha y 27 618 t en 2012 respectivamente, situación que ubica a México como importador neto a partir del año 2000, con un saldo negativo de 18 684 t en 2011 (SIAP, 2014). Los factores que se mencionan como la causa de esta tendencia, son bajos rendimientos, la edad avanzada de las plantaciones, los altos costos de producción, el exceso de intermediarios y la dependencia de precios internacionales (González, 2005; Priego *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2013).

A nivel mundial, la situación del cultivo del cacao, no es diferente a la de México, el reporte anual de la Organización Internacional del Cacao (ICCO), menciona que la producción mundial cayó de 4 313 000 t en 2011 a 4 052 000 t en 2012; es decir, 6%, aunado a esto enfrenta otros problemas como el predominio de unidades de producción pequeñas, baja productividad, plantaciones viejas, volatilidad de precios, así como la presencia de plagas y enfermedades (ICCO, 2013). A pesar de esta problemática las perspectivas para este cultivo son alentadoras, dado que existe un crecimiento de la demanda de 2.5%, propiciado por que el consumo del cacao (*Theobroma cacao* L.) está relacionado con la demanda industrial del producto para fabricar principalmente chocolates (Inteligencia Comercial e Inversiones, 2103).

El contexto presentado previamente, permite ubicar la importancia del cultivo de cacao para México y que pese a la problemática que enfrenta, existe un mercado potencial, además de que el país cuenta con condiciones agroclimáticas para incrementar la producción, y con ello lograr la autosuficiencia. Lo anterior se logrará si se incrementa el área cultivada, por ello es requiere identificar áreas con alto

## Introduction

The Mexican tropic has appropriate agro-ecological conditions for the development of perennial crops such as cocoa (*Theobroma cacao* L.), tropical species of the Sterculiaceae family distributed naturally in the middle strata of warm humid jungles from the Western Hemisphere, between 18° north latitude (the states of Veracruz, Tabasco and Chiapas in Mexico) and 15° LS (Brazil and Bolivia), and from 0 to 1 000 masl (Cuatrecasas, 1964) in Mexico is mainly produced in the states of Tabasco and Chiapas. Both planting area as cocoa production has decreased, going from 75 356 ha and 36 360 t in 1980 to 64 143 ha and 27 618 t in 2012 respectively, situation that place Mexico as a net importer since 2000, with a negative balance of 18 684 t in 2011 (SIAP, 2014). The factors mentioned as the cause of this trend are low yields, age of plantations, high production costs, excess of intermediaries and dependence on international prices (González, 2005; Priego *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2013).

Globally, the situation of cocoa is no different for Mexico, the annual report of the International Cocoa Organization (ICCO), mentions that global production fell from 4.313 million t in 2011 to 4.052 million t in 2012; i.e., 6%, coupled to this, it faces other problems such as the predominance of small production units, low productivity, old plantations, price volatility, and the presence of pests and diseases (ICCO, 2013). Despite these problems, the expectations for this crop are encouraging, since there is a growing demand of 2.5%, favored by consumption of cocoa (*Theobroma cacao* L.) which is related to industrial product demand to elaborate chocolates (Inteligencia Comercial e Inversiones, 2103).

The previous context shows the importance of cocoa to Mexico and despite the problems it faces, there is a potential market, besides the country has agro-climatic conditions to increase production and achieve self-sufficiency. This will be achieved if the cultivated area increases, so it is necessary to identify areas with high productive and economic potential, by generating information that becomes a necessary element for decision making.

Using agro-ecological simulation models that are spatially explicit, it is possible to obtain information on biomass production and seed yield of cocoa (Gálvez *et al.*, 2010), to identify areas with potential to establish commercial

potencial productivo y económico, generando información que se convierta en un elemento necesario para la toma de decisiones.

Mediante el uso de modelos de simulación agroecológicos que sean espacialmente explícitos, es posible obtener información sobre la producción de biomasa y rendimiento de semilla del cacao (Gálvez *et al.*, 2010), que permita identificar áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones comerciales, como lo es el Soil and Water Assessment Tool (SWAT), modelo matemático de simulación dinámica (Neitsch *et al.*, 2005), desarrollado inicialmente para modelación hidrológica que permite simular la producción de agua y sedimentos en cuencas hidrográficas, considerando el efecto que las prácticas agronómicas tienen en la calidad del agua por el uso de pesticidas y fertilizantes. (Rivera *et al.*, 2012), gracias a un interfaz con SIG (ArcSWAT), se ha utilizado para estimar rendimientos de cultivos perennes usando información agroclimática (Inurreta *et al.*, 2013).

Realizar un análisis de la viabilidad técnica y económica de una actividad agropecuaria, genera información de gran utilidad para los tomadores de decisiones, así como para los productores, como lo han hecho Barrera *et al.* (2011), en un estudio sobre rentabilidad de vainilla. Los análisis de este tipo se fortalecen si se combina información de paquetes tecnológicos, de datos agroclimáticos, de variables de mercado de insumos y del producto. Por lo tanto el objetivo del estudio fue identificar superficie con potencial productivo y económico para establecer plantaciones de cacao a nivel de Unidad de Respuesta Hidrológica (URH), cuenca y por estado en la región del trópico húmedo mexicano. De ubicarse regiones con rendimientos medios de cacao similares a los obtenidos en principales países productores mundiales y R B/C mayor al costo de oportunidad del capital, contribuirá al diseño de estrategias de apoyo para incrementar la superficie y competitividad de este cultivo.

## Material y métodos

El trabajo se realizó en 48 cuencas hidrológicas, que abarcan una extensión de 50.7 millones de ha, distribuidas en nueve estados de la región Sur-sureste de México: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. Para simular los rendimientos del cacao

plantations, as is the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), mathematical model of dynamic simulation (Neitsch *et al.*, 2005), initially developed for hydrological modeling to simulate water production and sediment in watersheds, considering the effect that agronomic practices have on water quality for the use of pesticides and fertilizers. (Rivera *et al.*, 2012), thanks to an interface with GIS (ArcSWAT), has been used to estimate yields of perennial crops using agro-climatic information (Inurreta *et al.*, 2013).

To perform an analysis of the technical and economic viability of farming activity generates information useful for decision makers, as well as for producers, as Barrera *et al.* (2011) have done in a study on profitability of vanilla. Analyses of this type are strengthened if information from technology packages, agro-climatic data, market input and output are combined. Therefore the aim of the study was to identify surface with productive and economic potential to establish cocoa plantations at Hydrologic Response Unit (HRU), basin and state level from the Mexican humid tropics. If locating regions with average yields of cocoa similar to those obtained in the main producing countries and R B/C greater than opportunity cost of capital, will contribute to the design of support strategies to increase the surface and competitiveness of this crop.

## Material and methods

The work was performed in 48 watersheds, covering an area of 50.7 million hectares, spread over nine states of South-southeast region of Mexico: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz and Yucatan. To simulate cocoa (*Theobroma cacao* L.) yields, the 48 basins were divided into 816 sub basins and 7 154 HRU, subsequently profit potential of HRU with higher yields was estimated.

### Yield simulation

It was conducted using the SWAT program with its ArcSWAT extension within the GIS interface ArcGIS 9.3. Due to SWAT is a hydrologic model that works at basin level, it was necessary to fit the study area to run a simulation at this hydrologic unit level (Inurreta *et al.*, 2013), the watershed to be simulated was divided into sub basins, using topographic information from a digital elevation model (DEM) and a map

(*Theobroma cacao* L.), las 48 cuencas se dividieron en 816 sub cuencas y 7 154 URH, posteriormente, se estimó la rentabilidad potencial de las URH con mayor rendimiento.

### Simulación del rendimiento

Se llevó a cabo utilizando el programa SWAT con su extensión ArcSWAT dentro del interfaz sistema de información geográfica ArcGIS 9.3. Debido a que el SWAT es un modelo hidrológico que trabaja a nivel de cuenca, fue necesario acondicionar el área de estudio para realizar la simulación a nivel de esta unidad hidrológica (Inurreta *et al.*, 2013), la cuenca a simular se dividió en subcuencas, utilizando información topográfica proveniente de un modelo de elevación digital (DEM) y un mapa de escurrimientos superficial. En cada subcuenca se generaron URH's, que son áreas que presentan el mismo intervalo de pendiente, tipo de suelo y uso actual del suelo. El mapa de pendientes es generado por el SWAT a partir del DEM, en cambio los mapas edafológico y de uso actual del suelo fueron tomados del INEGI con una escala de 1:250 000 e ingresados al sistema.

El modelo consta de ocho componentes: a) clima; b) hidrología; c) nutrientes y pesticidas en el suelo; d) erosión del suelo; e) crecimiento de plantas y cobertura del suelo; f) prácticas de manejo, g) procesos en el canal principal de drenaje; y h) cuerpos (almacenamiento) de agua. Utilizando información climática, de suelo, de fisiología de cultivos y de prácticas de manejo, es capaz de simular el desarrollo de cultivos y estimar su rendimiento a nivel de URH y expresar el resultado cartográficamente. El modelo requiere dos tipos de información climática: estadísticas promedio mensuales y datos diarios para las variables temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación pluvial, humedad relativa y velocidad del viento. En este trabajo, la información climática se extrajo de una base de datos de 1 145 estaciones provenientes del SMN, las cuales contaban con información climática completa de por lo menos 10 años. Con esta información y usando el generador climático del modelo EPIC (Sharply y Williams, 1990), se generaron las estadísticas climáticas y posteriormente los datos diarios para el periodo 1912-2010.

La información edafológica para caracterizar las subclases de suelo del mapa de INEGI, se obtuvo a partir de un reporte de este mismo Instituto con datos de campo de 1 247 pozos agrologicos. La información faltante se generó a partir de diversas fuentes: las propiedades hidráulicas y el factor de erodabilidad "K" de la USLE, fueron calculada de acuerdo

of surface runoff. In each sub basin HRU's were generated, which are areas that have the same slope intervals, soil type and current land use. The slope map is generated by SWAT from DEM, however the edaphological and current land use maps were taken from INEGI with scale of 1: 250 000 and entered into the system.

The model consists of eight components: a) climate; b) hydrology; c) nutrients and pesticides in soil; d) soil erosion; e) plant growth and soil cover; f) management practices, g) processes in the main drainage channel; and h) bodies (storage) of water. Using climate, soil, crop physiology and management practices data, is capable to simulate crop development and estimate their yield at HRU level and express the result cartographically. The model requires two types of climate information: monthly average statistics and daily data for maximum temperature, minimum temperature, rainfall, relative humidity and wind speed. In this paper, climate information was extracted from a database of 1 145 stations from SMN, which had full climate information of at least 10 years. With this information and using the climate generator from the EPIC model (Sharply and Williams, 1990), climatic statistics and subsequently the daily data for the period 1912-2010 were generated.

Soil information to characterize soil subclasses from INEGI map was obtained from a report of the same institute with field data from 1 247 agrologic wells. The missing information was generated from different sources: hydraulic properties and erodibility factor "K" of USLE were calculated according to the texture as Saxton *et al.* (1986) and the albedo was calculated from the organic matter according to a regression equation obtained from the original information of SWAT with 202 soils with albedo and organic matter.

Crop physiological parameters required by the model are 40; however, from these, only eight have a significant impact on yield (Table 1). Agronomic management was prepared according to (Lopez, 2011).

### Estimating economic potential

The methodology agricultural project analysis (Gittinger, 1982) was applied by estimating the profitability indicators: benefit/ cost ratio (RB/C), net present value (VAN), internal rate of return (TIR), HRU level, whose mathematical expressions are presented below (Coss, 1984).

a la textura según Saxton *et al.* (1986) y el albedo fue calculado a partir de la materia orgánica según una ecuación de regresión obtenida de la información original del SWAT con 202 suelos con albedo y materia orgánica.

Los parámetros fisiológicos del cultivo requeridos por el modelo son 40; sin embargo, de ellos, solo ocho tienen un impacto significativo sobre el rendimiento (El Cuadro 1). El manejo agronómico fue elaborado de acuerdo a (López, 2011).

$$R\ B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FI}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t}}$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FI - FC}{(1+i)^t}$$

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{FI - FC}{(1+i)^t} = 0$$

### Cuadro 1. Parámetros fisiológicos para estimar rendimientos de Cacao (*Theobroma cacao* L.).

Table 1. Physiological parameters to estimate Cocoa yields (*Theobroma cacao* L.).

Parámetros fisiológicos	Unidad	Cacao	Fuente de información
Temperatura óptima	[°C]	28	López (2011)
Temperatura base	[°C]	15	López <i>et al.</i> (2010)
Índice de área foliar	[m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ]	0.5*	Zuidema and Leffelaar (2002)
Eficiencia en uso de radiación	[(kg ha <sup>-1</sup> )(MJ m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	12	Zuidema and Leffelaar (2002)
Índice de cosecha	[Adimensional]	0.07	Zuidema and Leffelaar (2002)
Profundidad de raíces	[m]	2	Portillo <i>et al.</i> (2005)
Altura máxima del dosel	[m]	5	Portillo <i>et al.</i> (2005)
Coeficiente de extinción de luz	[Adimensional]	0.72	Zuidema y Leffelaar (2002)
Altura mínima sobre nivel del mar	[m]	0	López <i>et al.</i> (2010)
Altura máxima sobre nivel del mar	[m]	800	López <i>et al.</i> (2010)

### Estimación del potencial económico

Se aplicó la metodología de evaluación de proyectos de tipo agrícola a largo plazo (Gittinger, 1982), mediante la estimación de los indicadores de rentabilidad: relación beneficio/costo (R B/C), valor actual neto (VAN), tasa interna de rentabilidad (TIR), a nivel de URH, cuyas expresiones matemáticas se presentan a continuación (Coss, 1984).

$$R\ B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FI}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t}}$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FI - FC}{(1+i)^t}$$

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{FI - FC}{(1+i)^t} = 0$$

Donde: FC= flujo de costos de producción; FI= flujo de ingresos; i= tasa de actualización; y n= número de años de la plantación.

Where: FC is the flow of production costs; FI is the flow of revenues; *i* is the discount rate; and *n* plantation age.

FC and FI were estimated from the technical coefficients per hectare from the technological package proposed by López (2011), considering a crop horizon of 25 years, using the following equation:

$$FC = TCoE_1 + \left( \sum_{j=1}^{n=25} CoFP + CoVP \right)$$

Where: TCoE is the total cost of plantation establishment in year 1, calculated by the sum of the amount of inputs used for the establishment of an ha of cocoa by its average market price in Tabasco and Chiapas states during 2013; CoFP in the fixed cost of production for years one through year 25, calculated by the sum of the depreciation costs of plantation (TCoE minus the salvage value, between the 25 year life) and administration costs (3% income from cocoa sale) and CoVP is the variable cost of production from year one through year 25, calculated by the sum of the different



Los FC y FI se estimaron a partir de los coeficientes técnicos por hectárea del paquete tecnológico propuesto por López (2011), considerando el horizonte del cultivo de 25 años, aplicando las siguientes fórmulas:

$$FC = TCoE_1 + \left( \sum_{i=1}^{n=25} CoFP + CoVP \right)$$

Donde: TCoE= costo total de establecimiento de la plantación en el año 1, calculado por la sumatoria de la cantidad utilizada de los insumos para el establecimiento de una ha de cacao por su respectivo precio promedio de mercado en los estados Tabasco y Chiapas en 2013; CoFP= costo fijo de producción del año uno al año 25, calculado por la sumatoria de los costos de depreciación de la plantación (TCoE menos el valor de rescate, entre los 25 años de vida útil) y costos de administración (3% de los ingresos por venta de cacao); y CoVP= costo variable de producción del año uno al año 25, calculado por la sumatoria de las diferentes cantidades de insumos para la operación y mantenimiento de la plantación por su respectivo precio promedio de mercado de los estados de Tabasco y Chiapas durante en 2013.

$$FI = \left( \sum_{i=3}^{n=25} Pxkg * RCxha \right) + Pxmad * Qmad_{25}$$

Donde: Pxkg= precio de mercado de grano de cacao del año tres al 25; RCxha= rendimiento del grano de cacao por ha; Pxmad= precio de mercado de la madera en el año 25; y Qmad= cantidad de madera vendida en el año 25. Los precios de mercado tanto de cacao como de madera son precios corrientes promedio del estado de Tabasco durante 2013.

En razón de que los costos de establecimiento, de producción y los ingresos corresponden al periodo de vida del proyecto, se llevaron a valor presente aplicando una tasa de actualización de 10.4%, propuesta por el Banco Mundial (BM), como el costo de oportunidad del capital para proyectos de inversión pública para México (Coppola *et al.*, 2014). El estudio de potencial económico se complementó con un análisis de sensibilidad, considerando tres escenarios: i) disminución del precio del cacao, considerando el precio internacional, bajo el supuesto de que en el largo plazo el precio del mercado nacional disminuya; ii) incremento en el precio del fertilizante, por ser uno de los insumos de mayor porcentaje en la estructura del costo variable, causado por un incremento general de precios de acuerdo a la tendencia de la inflación a nivel nacional; y iii) la combinación de las dos situaciones anteriores, disminución del precio del cacao y aumento del precio del fertilizante que se considera el caso más crítico.

amounts of inputs for the operation and maintenance of a plantation by their respective average market price of Tabasco and Chiapas during 2013.

$$FI = \left( \sum_{i=3}^{n=25} Pxkg * RCxha \right) + Pxmad * Qmad_{25}$$

Where: Pxkg is the market price of cocoa beans from year 3 to 25, RCxha is the cocoa bean yield per hectare, Pxmad is the market price of wood in year 25 and Qmad is the amount of timber sold in year 25. Market prices of both cocoa and timber are average prices from Tabasco State for 2013.

Due to establishment costs, of production and income correspond to lifetime of the project, there were taken to current value using a discount rate of 10.4%, proposed by the World Bank (WB), as the opportunity cost of capital for public investment projects for Mexico (Coppola *et al.*, 2014). The study of economic potential was complemented with a sensitivity analysis, considering three scenarios: i) decrease of cocoa price, considering the international price, assuming that in the long term the national market price will decrease; ii) increase in fertilizer price, for being one of the inputs of higher percentage of variable cost structure, caused by a general increase in prices according to the trend of inflation at national level; and iii) a combination of the last two scenarios, decrease of cocoa prices and increase in fertilizer price are considered the most critical case.

## Results and discussion

### Productivity potential of cocoa

The surface with potential to produce cocoa are shown on Figure 1, the three areas of darker color could produce cocoa with yields higher than the national average, which is 499 kg; however, the surface with yields above 1 t ha<sup>-1</sup> is 223 000 ha, located in Veracruz, Puebla, Chiapas and Oaxaca, an amount higher than the actual surface of cocoa, which is 61 612 ha (SIAP, 2014).

The distribution of the surface by yield level of cocoa bean and State are presented in Table 2, where it can be seen that 59% of the regional surface can produce cocoa, being Puebla with less surface and Yucatan with the highest extension, however only four states count with potential area to produce more than 1 t ha<sup>-1</sup>, being Veracruz with the highest surface, situation that contrasts reality, where Tabasco is the largest

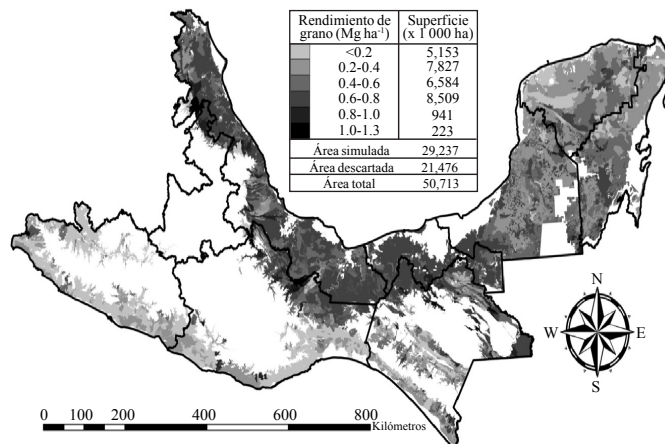
## Resultados y discusión

### Potencial productivo del cultivo de cacao

La superficie con potencial para producir el cultivo se presentan en la Figura 1, en las tres zonas de color más oscuro se podría producir cacao con un rendimiento superior al promedio nacional, que es de 499 kg; sin embargo, la superficie con rendimientos superiores a 1 t ha<sup>-1</sup> es de 223 000 ha, localizada en los estados de Veracruz, Puebla, Chiapas y Oaxaca, cantidad mayor a la superficie sembrada actual de cacao, que es de 61 612 ha (SIAP, 2014).

La distribución de la superficie por nivel de rendimiento de grano de cacao y Estado se presenta en el Cuadro 2, en donde se aprecia que 59% de la superficie regional se puede producir cacao, siendo Puebla el que menor superficie cuenta y Yucatán el de mayor extensión, sin embargo solo cuatro estados cuentan con área potencial para producir más de una t ha<sup>-1</sup>, siendo Veracruz el de mayor superficie, situación que contrasta con la actualidad, donde Tabasco es el mayor productor, aunque con rendimientos menos de 500 kg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014). A nivel mundial los rendimientos mayores de cacao los obtiene Tailandia e Indonesia con un promedio de 1 090 y 813 kg por ha respectivamente (ICCO, 2013).

producer, but with yields lower than 500 kg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014). Globally the highest cocoa yields are from Thailand and Indonesia with an average of 1090 and 813 kg per ha respectively (ICCO, 2013).



**Figura 1. Superficie con potencial para producir grano de cacao en el Sur-Sureste de México.**

**Figure 1. Surface with potential to produce cocoa bean in the south- southeast Mexico.**

If Mexico wants to exploit the comparative advantages representing some regions, should produce cocoa in the 223 thousand hectares where higher yields than 1 000 kg ha<sup>-1</sup> could be obtained, amount that is consistent with the

**Cuadro 2. Distribución de la superficie (miles de ha) con potencial para producir cacao.**

**Table 2. Surface distribution (thousand ha) with potential to produce cocoa.**

Estado	Rendimiento de grano (t)						(% ) superficie estatal con potencial
	<0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.3	
Campeche	82	1 694	1 110	1 000	27	0	77
Chiapas	642	1 040	658	1 079	219	53	50
Guerrero	1 845	719	138	52	0	0	43
Oaxaca	1 411	733	603	737	217	51	41
Puebla	17	26	37	170	82	9	10
Quintana Roo	241	1 662	1 397	482	93	0	79
Tabasco	3	52	250	1 377	51	0	70
Veracruz	166	382	1 552	3 240	244	110	80
Yucatán	746	1 519	839	372	8	0	94
Total	5 153	7 827	6 584	8 509	941	223	59

Fuente: estimaciones realizadas aplicando el modelo SWAT.

Si México quiere aprovechar las ventajas comparativas que representan algunas regiones, debería producir cacao en las 223 mil ha en donde se podrían obtener rendimientos

approach of Priego *et al.* (2009) whose optimum yield for Tabasco places it in 1 577 kg ha<sup>-1</sup>. Is not enough to be competitive, but necessary to conserve natural resources, so

superiores a 1 000 kg ha<sup>-1</sup>, cantidad que concuerda con el planteamiento de Priego *et al.* (2009), cuyo rendimiento óptimo para Tabasco lo ubicaba en 1 577 kg ha<sup>-1</sup>. Pero no vasta ser competitivo, sino que hay que conservar los recursos naturales, para ello se plantea descartar las 90 000 ha cuyo uso actual del suelo es forestal (Cuadro 3) y proponer establecer cacao en 133 mil ha restantes.

La cuenca hidrológica con mayor extensión con potencial para cacao es la de Río Papaloapan, con una extensión 80 344 ha ubicadas en los estados de Veracruz y Oaxaca, comprende 207 URH en 9 municipios, le sigue en importancia la del Río Tuxpan, con 53 514 también ubicada en dos estados Veracruz y Puebla, comprende 250 URH en 8 municipios. La cuenca donde se pueden obtener los mayores rendimientos de 1 170 kg ha<sup>-1</sup> es la de Río Jamapa y otros, en los municipios de Coatepec, Teocelo, Tlaltetela y Xico, en estas cuencas actualmente no se produce cacao.

**Cuadro 3. Uso actual del suelo en la superficie con mayor potencial para producir cacao.**  
**Table 3. Current land use of the area with highest potential to produce cocoa.**

Estado	Superficie con rendimiento de 1-1.3 t	Uso actual del suelo		
		Agrícola	Ganadero	Forestal
Chiapas	53 000	9 000	14 000	30 000
Oaxaca	52 000	7 000	11 000	34 000
Puebla	8 000	1 000	6 000	1 000
Veracruz	110 000	28 000	57 000	25 000
Total	223 000	45 000	88 000	90 000

Fuente: estimaciones realizadas aplicando el modelo SWAT.

Los resultados presentados muestran la utilidad de estimar rendimientos con el modelo utilizado para ubicar superficie con potencial productivo como lo hicieron Rivera *et al.* (2012), para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco, donde, mediante las variables: clima, suelo, temperatura, precipitación pluvial, altitud, fotoperiodo y periodo de crecimiento, pudieron localizar 171 121 hectáreas potenciales en Huimanguillo, 70 386 en Balancán y 41 337 en Macuspana.

### Potencial económico del cultivo

Obtener altos rendimientos no es una condición suficiente para tomar la decisión de producir, se requiere ser rentable, para conocer este dato se valoraron los coeficientes técnicos del paquete tecnológico, en los Cuadros 4 y 5 se presentan respectivamente las inversiones y los costos de operación

it is suggested to discard the 90 000 ha whose current land use is forest (Table 3) and proposes to establish cocoa in the remaining 133 000 ha.

The watershed with the largest area with potential for cocoa is the Río Papaloapan, with an area of 80 344 hectares located in the states of Veracruz and Oaxaca, comprising 207 HRU in 9 municipalities, followed in importance by the Río Tuxpan, with 53 514 located in the states of Veracruz and Puebla, comprising 250 HRU in 8 municipalities. The basin where the highest yields of 1 170 kg ha<sup>-1</sup> can be obtained are Río Jamapa and others, in the municipalities of Coatepec, Teocelo, Tlaltetela and Xico, currently in these basins there is no production of cocoa.

The results show the usefulness to estimate yields with the model used to locate areas with productive potential like Rivera *et al.* (2012), for the cultivation of cassava

(*Manihot esculenta* Crantz) in the state of Tabasco, using variables like: climate, soil, temperature, rainfall, altitude, photoperiod and growth period, were able to locate 171 121 potential hectares in Huimanguillo, 70 386 in Balancán and 41 337 Macuspana.

### Economic potential of the crop

To obtain high yields is not enough to take a decision to produce, it must be profitable, to know this value the technical coefficients of the technology package were valued, Tables 4 and 5 show investment and operation costs of one ha of cocoa respectively, during the lifetime of the plantation. As it can be seen on Table 4, it is necessary to invest more than 50 thousand pesos per hectare to establish a plantation, being the vegetative material the one representing the highest value with 61%. As for operation costs, Table



de una ha de cacao durante la vida útil de la plantación. Como se observa en el Cuadro 4, se requiere invertir más de 50 mil pesos por ha para establecer un plantación, siendo el material vegetativo el que representa el mayor valor con 61%. En cuanto a los costos de operación, se aprecia en el Cuadro 5 que en el año 1, los costos son menores debido principalmente a que el cultivo esta en desarrollo y aun no hay producción, también la cantidad de fertilizante aplicado es menor debido al tamaño de las plantaciones, los costos se van incrementando cada año, hasta alcanzar el valor de \$16 185.85 en el año 6 y así se mantienen hasta el año 25.

5 shows that in year 1, the costs are lower mainly because the crop is under development and there is no production, also the amount of fertilizer applied is lower due to size plantation, costs are increasing each year, until reaching a value of \$16 185.85 in year 6 and so it remains until year 25.

To operation costs were added \$1 521.52 per year for depreciation of plantation, plus administration costs that vary according to yield. To estimate the profitability indicators took into account that revenues come from cocoa production during the 25 years of productive life of the plantation. According

**Cuadro 4. Costo de establecimiento de la plantación de cacao.**  
**Table 4. Establishing cost of cocoa plantation.**

Actividades	Unidad	Cantidad	Valor (\$)	
			Unitario	Total
Desmote	Jornales	16	150.00	2 400.00
Construcción de dren	Jornales	20	150.00	3 000.00
Trazo y distribución	Jornales	13	150.00	1 950.00
Material vegetativo cacao	Unidades	1111	30.00	33 330.00
Mano de obra	Jornales	54	150.00	8 100.00
Material vegetativo para sombra de cacao	Unidades	278	20.00	5 560.00
Total				54 340.00

**Cuadro 5. Costos variables de producción de cacao.**  
**Table 5. Variable costs of cocoa production.**

Actividades	Unidad	Precio (\$)	Año 1		Año 6 (cultivo estabilizado)	
			Cantidad	Valor (\$)	Cantidad	Valor (\$)
Fertilizantes		7.58	166.7	1 263.59	388.9	2 947.86
Control de plagas	Jornales	127.00	4	508.00	2	254.00
Control de enfermedades	Jornales	110.00	4	440.00	4	440.00
Aplicación fertilización	Jornales	150.00	9	1 350.00	9	1 350.00
Control de malezas	Jornales	150.00	16	2 400.00	20	3 000.00
Aplicación de plaguicidas y funguicidas	Jornales	150.00	10	1 500.00	10	1 500.00
Poda	Jornales	150.00	10	1 500.00	10	1 500.00
Mantenimiento de la plantación	Jornales	150.00	5	750.00	5	750
Cosecha	Jornales	150.00			24	3 600.00
Otros costos				971.00		1 594.00
Total				10682.59		16 185.86

A los costos de operación se le sumaron \$1 521.52 por año por depreciación de la plantación, más los costos de administración que varían de acuerdo al rendimiento. Para estimar los indicadores de rentabilidad se consideró que los ingresos provienen de la producción de cacao durante los 25 años de vida productiva de la plantación. De acuerdo al paquete tecnológico, la producción empieza a partir del año 3 con 30% del potencial productivo, en el año 4 se produce

to the technology package, production starts from year 3 with 30% of potential production, in year 4; 60% is produced, in year 5; 80% and from year 6 remains 100. The price considered for the analysis was \$36.50 per kilogram, which was the price of cocoa bean to the producer in the state of Tabasco in 2013 (SIAP, 2014). With the information cost and revenue was estimated and updated cash flow for 25 years, which in turn allowed estimating the RB/C, VAN and TIR.

60%, en el año 5; 80% y a partir del año 6, se mantiene el 100. El precio considerado para hacer el análisis fue de \$36.50 por kilogramo, que fue el precio de grano de cacao al productor en el estado de Tabasco en el año 2013 (SIAP, 2014). Con la información de costos e ingresos se estimó y actualizó el flujo de efectivo para los 25 años, lo que a su vez permitió estimar los indicadores de R B/C, VAN y TIR.

Los resultados muestran que el rendimiento mínimo que una plantación de cacao requiere para que un productor empiece a tener ganancia, es de 770 kg ha<sup>-1</sup>, con los cuales se obtiene una R B/C de 1, un VAN de 0 y una TIR de 10.4%, igual a la tasa de actualización, que son las condiciones de equilibrio (Gittinger, 1974), por lo tanto, plantaciones que obtienen rendimientos superiores a esta cantidad son rentables, situación que no acontece actualmente dado que el promedio nacional fue de apenas 460 kg ha<sup>-1</sup> en 2013 (SIAP, 2014), este resultado confirma el planteamiento de González (2005) que mencionaba que el cacao mexicano no es competitivo y que presentaba costos de producción mayores que otros países, también proporciona elementos para justificar la tendencia de disminución de la producción de cacao mencionada por Díaz *et al.* (2013).

En el Cuadro 6 se presentan los indicadores financieros evaluados en los cuatro estados cuya simulación de rendimientos fue mayor a 1 000 kg ha<sup>-1</sup>, se aprecia que estos indicadores son favorables y coinciden con los valores presentados por Cruz *et al.* (2013) para el cultivo de cacao en el estado de Chiapas. Si se establecieran plantaciones de cacao en las URH con mayor potencial productivo los productores obtendrían de 33 a 42 centavos por cada peso invertido, también les permitiría contratar un crédito y pagar una tasa de interés de entre 8% y 10% mayor al costo de oportunidad de capital.

**Cuadro 6. Indicadores de rentabilidad de las plantaciones de cacao en los estados con potencial productivo.**  
**Table 6. Profitability indicators of cocoa plantations in states with productive potential.**

Estado	Rendimiento	R B/C	TIR (%)	VAN (\$)
Chiapas	1 058	1.35	18.8	72 050.6
Oaxaca	1 040	1.33	18.4	67 543.7
Puebla	1 097	1.39	19.8	81 815.7
Veracruz	1 118	1.42	20.3	87 073.8

Como se mencionó previamente, el área potencial para producción cacao es de 133 mil ha (34% agrícola y 66% ganadero), aunque varía por estado, los principales cultivos agrícolas que se siembran actualmente son maíz, caña de

The results show that the minimum yield that a cocoa plantation requires for a producer to start earning profit, is 770 kg it ha<sup>-1</sup>, with which a RB / C of 1, a VAN of 0 and a TIR of 10.4% are obtained, equal to the discount rate, which are the equilibrium conditions (Gittinger, 1974), therefore, plantations obtaining yields over this amount are profitable, situation that is not happening currently since the national average barely reached 460 kg ha<sup>-1</sup> in 2013 (SIAP, 2014), this result confirms the approach from González (2005) who stated that Mexican cocoa is not competitive and it has higher production costs than other countries, also provides elements to justify the decreasing trend in cocoa production mentioned by Díaz *et al.* (2013).

Table 6 shows the financial indicators evaluated in the four states whose simulation yields were higher than 1 000 kg ha<sup>-1</sup>, it is appreciated that this indicators are favorable and coincide with the values presented by Cruz *et al.* (2013) for the cultivation of cocoa in the state of Chiapas. If cocoa plantations were established in the HRU with higher productive potential the producers would obtain 33 to 42 cents for every peso invested, it would also allow them to hire a loan and pay an interest rate of 8% and 10% higher than the opportunity cost capital.

As mentioned previously, the potential area to produce cocoa is 133 000 ha (34% agriculture and 66% livestock), although it varies by state, the main agricultural crops sown currently are corn, sugar cane and coffee and beef production related to livestock (SIAP, 2014), thus producers decision to change the current land use would be based is an expectation of higher gain to that it has now. In a study conducted in Mexico by Dominguez *et al.* (2010) mentions that grains are less profitable than fruits and vegetables; however, it also requires less investment, so the risk is also lower.

In another study comparing poly-cultures with monocultures including cocoa and coffee in Chiapas, reported that cocoa has a benefit-cost ratio higher than 1.73 vs 1.41 Cruz *et al.* (2013). Finally Carrera *et al.* (2013) studied the behavior of beef cattle

azúcar y café y la producción de carne de bovino en el caso de la ganadería (SIAP, 2014), por tanto la decisión de productor para cambiar el uso actual de suelo se basaría es una expectativa de ganancia mayor a la que obtiene actualmente. En un estudio realizado en México por Domínguez *et al.* (2010), menciona que los cereales son menos rentables que las frutas y hortalizas; sin embargo, también requieren de menor inversión, por lo que el riesgo también es menor.

En otro estudio donde se comparan policultivos con monocultivos entre ellos el cacao y el café en Chiapas, reporta que el cacao tiene una relación beneficio costo mayor de 1.73 vs 1.41 Cruz *et al.* (2013). Finalmente Carrera *et al.* (2013), al estudiar el comportamiento de la ganadería de carne durante el periodo de 1980-2009, encontraron que esta actividad ha perdido competitividad. Lo expuesto previamente permite ubicar a la producción de cacao como una actividad viable para los productores en la región estudiada, aunque se requiere establecer una política de apoyo, tendiente a disminuir el costo financiero de la inversión y promueva un uso intensivo de la mano de obra, como lo sugiere Barrera *et al.* (2011), en un estudio similar.

En el Cuadro 7 se presentan los resultados del análisis de sensibilidad bajo tres escenarios, a) disminución del precio de cacao de 20%, que es el valor más bajo reportado por ICCO (2014), durante un periodo de los últimos 5 años; b) un incremento del precio del fertilizante de 10%, que fue el valor más alto que se obtuvo en un periodo de 10 años analizados; y c) una combinación de los dos anteriores. Se observa que los indicadores evaluados son sensibles al precio del producto, aunque en los tres escenarios presentados siguen siendo positivos.

**Cuadro 7. Análisis de sensibilidad de los indicadores de rentabilidad de las plantaciones de cacao en los estados con potencial productivo.**

**Table 7. Sensitivity analysis of profitability indicators from cocoa plantations in the states with productive potential.**

Estado	< 20% precio cacao		> 10 % precio fertilizante		< 20% precio cacao y > 10 % precio fertilizante	
	R B/C	TIR (%)	R B/C	TIR (%)	R B/C	TIR (%)
Chiapas	1.09	13.0	1.33	18.6	1.08	12.6
Oaxaca	1.08	12.5	1.31	18.1	1.06	12.2
Puebla	1.13	13.9	1.38	19.5	1.12	13.6
Veracruz	1.15	14.4	1.40	20.0	1.14	14.1

En 2013 se sembraron 61 344 ha de cacao en el sureste del país (SIAP, 2014), por lo que la superficie potencial de 133 000 ha reportada en los cuatro estados, es más del doble de

during the period from 1980 to 2009, finding that this activity has lost competitiveness. The above allows placing cocoa production as a viable activity for producers in the region, although it is required to establish a supportive policy, aimed to reduce the financial cost of investment and promote intensive labor as suggested by Barrera *et al.* (2011), in a similar study.

Table 7 shows the results of the sensitivity analysis under three scenarios, a) decrease in cocoa price by 20% which is the lowest value reported by ICCO (2014), for the last five years; b) an increase in fertilizer price by 10%, which was the highest value over a period of 10 years analyzed; and c) a combination of the last two. It is noted that the indicators evaluated are sensitive to price of the product, although in all three scenarios remain positive.

In 2013, 61 344 ha of cocoa were planted in the Southeast (SIAP, 2014), so the potential area of 133 000 ha reported in the four states, is more than double the current surface, coupled to an increase of 100% in yield, there would be enough production to meet domestic demand for cocoa and take advantage of opportunities in the international market in anticipation to an increase in demand of this product reflected in the consumption of chocolate and besides it is considered that this regions would have a higher profitability, the economic impact would be high.

## Conclusions

The combination of agro-climatic, productive and economic information allowed locating regions with competitive cocoa grain yields globally and with profitability rates

higher than opportunity cost of capital, which makes them a high potential to establish cocoa plantations; mainly because of its importance in the Humid Tropics of Mexico,

la superficie actual, aunado a al incremento de 100% en rendimiento, se tendría una producción para satisfacer la demanda interno de cacao y aprovechar las oportunidades que ofrece el mercado internacional ante la expectativa de incremento de la demanda derivada de este producto reflejada en el consumo de chocolate y si además, se considera que en estas regiones se obtendría una rentabilidad mayor, el impacto económico sería elevado.

## Conclusiones

La combinación de información agroclimática, productiva y económica permitió ubicar regiones con rendimientos de grano de cacao competitivos a nivel mundial y con tasas de rentabilidad mayores al costo de oportunidad del capital, lo que las convierte con alto potencial para establecer plantaciones de cacao. Principalmente por su importancia en el Trópico Húmedo de México, y la problemática que enfrenta, por ello se recomienda utilizar la información para el diseño de política tendiente a reactivar la producción de cacao, logrando con ello la autosuficiencia y a la vez aprovechar las oportunidades que actualmente ofrece el mercado internacional, propiciado por el incremento del consumo de chocolate.

## Agradecimientos

Por el financiamiento a FIRCO-SAGARPA.

## Literatura citada

- Barrera R., A. I.; Jaramillo, V. J. L.; Escobedo, G. J. S. y Herrera, C. B. E. 2011. Rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* J.). *Agrociencia*. 45:625-638.
- Carrera, Ch. B.; Bustamante, L. y Tzatzil, I. 2013. ¿Es la ganadería bovina de carne una actividad competitiva en México? *Nóesis*. 22(43):19-50.
- Coss, B. R. 1984. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. Ed. Limusa. México, D. F. 348 p.
- Cruz, G. B.; Jarquín, G. R. y Ramírez, T. H. M. 2013. Viabilidad ambiental y económica de policultivos de hule, café y cacao. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(1):49-61.
- Coppola, A.; Fernholz, F. and Graham, G. 2014. Estimating the economic opportunity cost of capital for public investment projects, an empirical analysis of the Mexican case. The World Bank. Policy Research Working Paper 8616. Washington, DC. 41 p.
- and the problems it faces, therefore it is recommended to use the information to design policies aimed to reactivate cocoa production, achieving self-sufficiency and also take advantage of the opportunities that the current international market offers, favored by increased consumption of chocolate.
- End of the English version*
- 
- Cuatrecasas, J. 1964. Cacao and its halleis. A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contrib. Nat. Herb.* 35:379-61.
- Díaz, J. O.; Aguilar, A. J. J.; Rendón, M. R. and Santoyo, C. V. H. 2013. Current state of and perspectives on cocoa production in Mexico. *Cien. Inv. Agr.* 40(2):279-289.
- Domínguez, A. R.; Brambila, P. J. J.; Mora, F. S. y Martínez, D. M. A. 2010. Valores críticos para evaluar proyectos agrícolas en escenarios de precios estocásticos. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(1):79-83.
- Gálvez, G.; Sigarrosa, A.; López, T. y Fernández, J. 2010. Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos. *Cultivos Tropicales*. 31(3):60-65.
- Gittinger, J. P. 1982. Análisis económico de proyectos agrícolas. Instituto de Desarrollo Económico (IDE). Banco Mundial. Tecnos, Madrid, España. 241 p.
- González, L. V. W. 2005. Cacao en México: competitividad y medio ambiente con alianzas (Diagnóstico rápido de producción y mercadeo). United States Agency International Development. Chemonics International Inc. 93 p.
- Inteligencia Comercial e Inversiones. 2103. Análisis del sector cacao y elaborados. Pro Ecuador, Instituto de Promoción de Importaciones e Inversiones. Quito, Ecuador. 42 p.
- International Cocoa Organization (ICCO). 2013. Annual report 2011/2012. ICCO. Westgate house, westgate road, ealing. London W5 1YY, United Kingdom. 72 p.
- Inurreta, A. H. D.; García, P. E.; Uresti, G. J.; Martínez, D. J. P. y Ortiz, L. H. 2013. Potencial para producir *Jatropha curcas* L. como materia prima para biodiesel en el estado de Veracruz. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 16:325-339.
- López, A. A. P. 2011. Paquete tecnológico cacao (*Theobroma cacao* L.). Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur - sureste de México: Trópico Húmedo. SAGARPA-INIFAP. Huimanguillo, Tabasco. México. 10 p.
- López, G. G.; Iracheta, D. L. y Avendaño, A. C. H. 2010. Tecnologías de producción para el trópico. *In: 65 Aniversario del Campo Experimental Rosario Izapa*. INIFAP. Tuxtla Chico, Chiapas, México. Libro técnico Núm. 7. 222 p.
- Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R. and Williams, J. R. 2005. Soil and Water Assessment Tool. Theoretical documentation. backland research center. Texas Agricultural Experiment Center. Texas, USA.
- Portillo, E.; Martínez, E.; Araujo, F.; Parra, R. y Esparza, D. 1995. Diagnóstico técnico agronómico para el cultivo cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron. Luz.* 12:151-166.
- Priego, C. G. A.; Galmiche, T. A.; Castelán, E. M.; Ruiz, R. O. y Ortiz, C. A. I. 2009. Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción de cacao: estudios de caso en unidades de producción rural en Comalcalco, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 25(1):39-57.

- Rivera, H. B.; Aceves, N. L. A.; Juárez, L. J. F.; Palma, L. D. J.; González, M. R. y González, J. 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*. 16(1):29-47.
- Rivera, T. F.; Pérez, N. S.; Ibáñez, A. C. L. A. y Hernández, S. F. R. 2012. Aplicabilidad del modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. *Agrociencia*. 46:101-105.
- Saxton, K. E.; Rawls, W. J.; Romberger, J. S. and Papendick, R. I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(4):1031-1036.
- Sharpley, A. N. y Williams, J. R. 1990. EPIC-erosion/productivity impact calculator. USDA. Agricultural research service, Technical Bulletin No. 1768, Washington, D. C. EUA. 235 p.
- Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción agrícola por estado 2014. SIAP-SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual>.
- Zuidema, P. A. and Leffelaar, P. P. A. 2002. A physiological production model for cacao: user's manual for CASE2 version 2.2 under FSE Windows, 2002. Department of Plant Sciences, Wageningen University, the Netherlands.