

EN

Agro-ecological zoning of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the eastern part of the state of Chiapas, Mexico

ES

Zonificación agroecológica de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el oriente del estado de Chiapas, México

Victorino Gómez-Valenzuela*; Josmar Ramón Díaz-Roblero; Mauro González-Cardoza; Isabel Leyva-Flores; Daniel Crisanto Núñez-Hernández; Flor de América Rodríguez-Silvano; Johana Ruiz-Álvarez; Mauricio Francisco Sánchez-Pérez; Gonzalo Johan Vázquez-Álvaro; María Juana Velasco-González; Helcías Eliú Velázquez-Morales

Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria Sursureste, km 7 carretera Teapa-Vicente Guerrero, Teapa, Tabasco, México.

*Corresponding author:
vgomezv@chapingo.mx,
vgomez62@hotmail.com

Received: September 21, 2022 /
Accepted: January 19, 2023

DOI:
10.5154/r.rchsagt.2023.03.01

Abstract

Productive activities are developed in the eastern part of the state of Chiapas, among them, livestock and basic crops highlight, in addition of other plant species of agro-industrial importance such as the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). This oleaginous plant, very polemic from the environmental perspective, maintains interest and expectation for the farmers. However, the areas with greater productive potential considering the natural characteristics of the zone, are unknown, for this, in the present study, it was proposed to analyze the edaphoclimatic perspective by using the available information and the Agro-Ecological Zones methodology proposed by the FAO (1997), adapted to Mexico and particularly in the eastern part of Chiapas, in order to know their natural environmental vocation to grow the oil palm, recognizing that the available edaphoclimatic information matches with what is required agro-ecologically according to the literature. Among the results of this study there is the identification of an area of 61 991.4 hectares, where there are no restrictions in terms of climate and soil to grow palm and 235 021.7 hectares with a particular level of restriction, where, with a proper management of the soil components it is possible to increase the production yield and quality, so the cultivated area with this oleaginous plant, could be extended. As a result of this, it is concluded that there are appropriate agro-ecological conditions to continue growing this palm, using the existent productive potential and in this way contribute to improve the planning of agricultural development within the region.

Key words: agro-ecological zoning, proficiency levels, eastern part of Chiapas.

Resumen

En la porción oriente del estado de Chiapas se desarrollan actividades productivas entre las que destacan la ganadería y cultivos básicos, además de otras especies vegetales de importancia agroindustrial como palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Esta oleaginosa, aunque muy polémica desde la óptica ambientalista, mantiene interés y expectativa en los productores. Sin embargo, se desconocen las áreas con mayor potencial productivo considerando las características naturales de la zona; por ello, en el presente estudio se planteó analizar la



Please cite this article as follows (APA 7): Gómez-Valenzuela, V., Díaz-Roblero, J. R., González-Cardoza, M., Leyva-Flores, I., Núñez-Hernández, D. C., Rodríguez-Silvano, F., Ruiz-Álvarez, J., Sánchez-Pérez, M. F., Vázquez-Álvaro, G. J., Velasco-González, M. J., & Velázquez-Morales, H. E. (2023). Agro-ecological zoning of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the eastern part of the state of Chiapas, Mexico *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 5-20. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.01>

perspectiva edafoclimática, haciendo uso de la información existente y con el apoyo de la Metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO (1997), adaptada a México y en particular al oriente del estado de Chiapas, para conocer su vocación ambiental natural para cultivar palma de aceite; reconociendo que la información edafoclimática disponible coincide con lo requerido agroecológicamente según la literatura. Entre los resultados de este estudio destacan la identificación de una superficie de 61 991.4 hectáreas, donde no existen restricciones de clima y suelo para el cultivo de palma y 235 021.7 hectáreas con cierto nivel de restricción, en donde con un manejo adecuado de los componentes edafológicos, es posible incrementar el rendimiento y la calidad de la producción, por lo que podría ampliarse la superficie cultivada con esta oleaginosa. Derivado de lo anterior, se concluye, que existen condiciones agroecológicas adecuadas para continuar cultivando esta palma, aprovechando el potencial productivo existente y así contribuir a mejorar la planeación del desarrollo agrícola en la región.

Palabras clave: Zonificación agroecológica, niveles de aptitud, oriente de Chiapas.

Introduction

The best oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) development is possible at low elevations (0-500 meters above sea level), although plantations up to 1 500 meters above sea level have been observed. The optimal maximum temperature for the development of this crop is from 28 to 34 °C and the minimum from 21 to 24 °C. The palm can grow in a precipitation range from 650 to 5 000 mm per year, but the perfect quantity of precipitation is from 2 000 to 2 500 mm per year, uniformly distributed and without dry periods (less than 100 mm during the month). A severe moisture deficit (more than 200 mm per year) causes abortion of flowers and predominance of masculine flowers (Touran et al., 2001; Janick and Paull, 2008; Ruíz et al., 2013; SAGARPA, 2017), which negatively impacts the fruit production, purpose of the crop.

The lack of water in the crop reduces yield because it causes abortion of inflorescences, the sexual differentiation changes, there is a greater production of masculine leaves than feminine ones, flowering is delayed, it generates abortion of branches, which reduces production and some of them do not grow, and, the fruit yield by plant is also affected (Barrios et al., 2001; Mhanhmad et al., 2011; SAGARPA, 2017).

Palm cultivation needs deep, flat or slightly wavy lands; slopes greater than 12 % expose it to erosion and production costs increase due to requiring more roads, terraces or contour lines, making it difficult to manage the crop (Sandoval, 2011).

The soil must be fertile with an uppermost surface with a depth from 80 to 120 cm, loamy texture and heavy clay subsoil that retains good amount of moisture. Soils with these characteristics supplies water and nutrients for the crop, while shallow soils or poor

Introducción

El mejor desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) ocurre a bajas elevaciones (0-500 msnm), aunque se han observado plantaciones hasta 1500 msnm. La temperatura máxima óptima para el desarrollo del cultivo es de 28 a 34 °C y la mínima de 21 a 24 °C. La palma puede desarrollarse en un rango de precipitación de 650 a 5 000 mm anuales, pero la cantidad ideal de precipitación es de 2 000 a 2 500 mm al año, distribuidos uniformemente y sin periodos de sequía (menos de 100 mm en el mes). Un severo déficit de humedad (más de 200 mm al año) provoca aborto de flores y predominio de floración masculina (Touran et al., 2001; Janick y Paull, 2008; Ruíz et al., 2013; SAGARPA, 2017), lo cual repercute negativamente en la producción de fruta, objetivo del cultivo.

La falta de agua en el cultivo merma el rendimiento, porque provoca aborto de las inflorescencias, se altera la diferenciación sexual, producen más hojas masculinas que femeninas, retarda la floración, genera aborto de racimos, lo que reduce la producción y algunos no llegan a madurar; además, el rendimiento de frutos por planta también se ve afectado (Barrios et al., 2001; Mhanhmad et al., 2011; SAGARPA, 2017).

El cultivo de palma requiere de suelos profundos, planos o ligeramente ondulados; pendientes superiores al 12 % lo exponen a erosión y los costos de producción se incrementan por requerir más caminos, terrazas o curvas de nivel dificultándose el manejo del cultivo (Sandoval, 2011).

El suelo debe ser fértil con un horizonte superficial de 80 a 120 cm de profundidad, textura franca y subsuelo arcilloso pesado, que retenga buena cantidad de

drainage reduce the production capacity of the palm. Sandy soils (coarse textures) or extremely clayey soils are not recommended (Sandoval, 2011; SAGARPA, 2017), because this crop does not thrive properly.

According to the SIAP (2019) in the eastern part of Chiapas there are 13 918 hectares cultivated with oil palm, mainly concentrated in the municipalities of Benemérito de las Américas and Palenque (5 606 and 5 644 ha, respectively); the harvested area increases to a total of 11 256 hectares, principally distributed in Palenque and Benemérito de las Américas (4 585.5 and 4 380 ha, respectively). In this region, a total of 53 518 tons of palm fruit was harvested, highlighting the municipality of Palenque with the greater volume collected (32 557 t), while in Benemérito de las Américas only 10 468 tons were harvested, amount relatively lower due to the low productivity ($2.39 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) of the plantations within the municipality. The municipalities that report a better productive yield are Catazajá and La Libertad with an average of $7.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, Benemérito de las Américas and Marqués de Comillas show average yields lower than $2.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, lower values than those reported for the Soconusco region (Gómez et al., 2022).

In this research we sought to study and analyze the eastern part of the state of Chiapas from the edaphoclimatic perspective, using the existing information and with the support of the Agro-Ecological Zones methodology proposed by the FAO (1997), adapted to Mexico, to identify and quantify the area with greater productive potential for the oil palm crop considering the agro-ecological characteristics of this plant.

Materials and methods

Location of the study area

The eastern part of Chiapas comprises $15\,556 \text{ km}^2$, it represents 19 % of the state territory and it consists of the municipalities of Marqués de Comillas, Benemérito de las Américas, Ocosingo, Palenque, La Libertad and Catazajá, Figure 1. It is adjacent to the north with the municipalities of Emiliano Zapata and Tenosique, Tabasco; to the east and south with the Republic of Guatemala; to the west with the municipalities of Salto de Agua, Chilón, Altamirano, Oxchuc, Las Margaritas and Maravilla Tenejapa.

Environmental characteristics of the study area (INEGI, 2010)

Within the study area, the warm-humid climate dominates (81.21 %) and in a small proportion a semi-

humedad. Suelos con estas características abastecen de agua y nutrientes al cultivo, mientras que suelos someros poco profundos o drenaje deficiente reducen la capacidad de producción de la palma. Los suelos arenosos (texturas gruesas) no son recomendados ni los extremadamente arcillosos (Sandoval, 2011; SAGARPA, 2017), pues en ellos no prospera adecuadamente este cultivo.

Según el SIAP (2019) en el oriente de Chiapas se cuenta con 13 918 hectáreas cultivadas con palma de aceite, concentradas principalmente en los municipios de Benemérito de las Américas y Palenque (5 606 y 5 644 ha respectivamente); la superficie cosechada asciende a un total de 11 256 hectáreas, distribuidas principalmente en Palenque y Benemérito de las Américas (4 585.5 y 4 380 ha respectivamente). En la esta región se cosechó un total de 53 518 toneladas de fruta de palma, destacando el municipio de Palenque con el mayor volumen recolectado (32 557 t), mientras que en Benemérito de las Américas solo se cosecharon 10 468 toneladas, cifra relativamente menor debido a la baja productividad ($2.39 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) de las plantaciones del municipio. Las municipalidades que reportan mejor rendimiento productivo son Catazajá y La Libertad con un promedio de $7.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas presentan rendimientos promedio menores a $2.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, valores inferiores a lo reportado para la región del Soconusco (Gómez et al., 2022).

En el presente trabajo se buscó estudiar y analizar la porción oriental del estado de Chiapas desde la perspectiva edafoclimática haciendo uso de la información existente y con el apoyo de la Metodología de Zonificación Agroecológica propuesta por la FAO (1997), adaptada a México, identificar y cuantificar las áreas con mayor potencial productivo para el cultivo de la palma de aceite considerando las características agroecológicas que tiene la planta.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

La zona oriente de Chiapas comprende $15\,556 \text{ km}^2$, representa el 19 % del territorio estatal y está conformada por los municipios de Marqués de Comillas, Benemérito de las Américas, Ocosingo, Palenque, La Libertad y Catazajá, Figura 1. Colinda al norte con los municipios de Emiliano Zapata y Tenosique, Tabasco; al este y sur con la república de Guatemala; al oeste con los municipios de Salto de Agua, Chilón, Altamirano, Oxchuc, Las Margaritas y Maravilla Tenejapa.

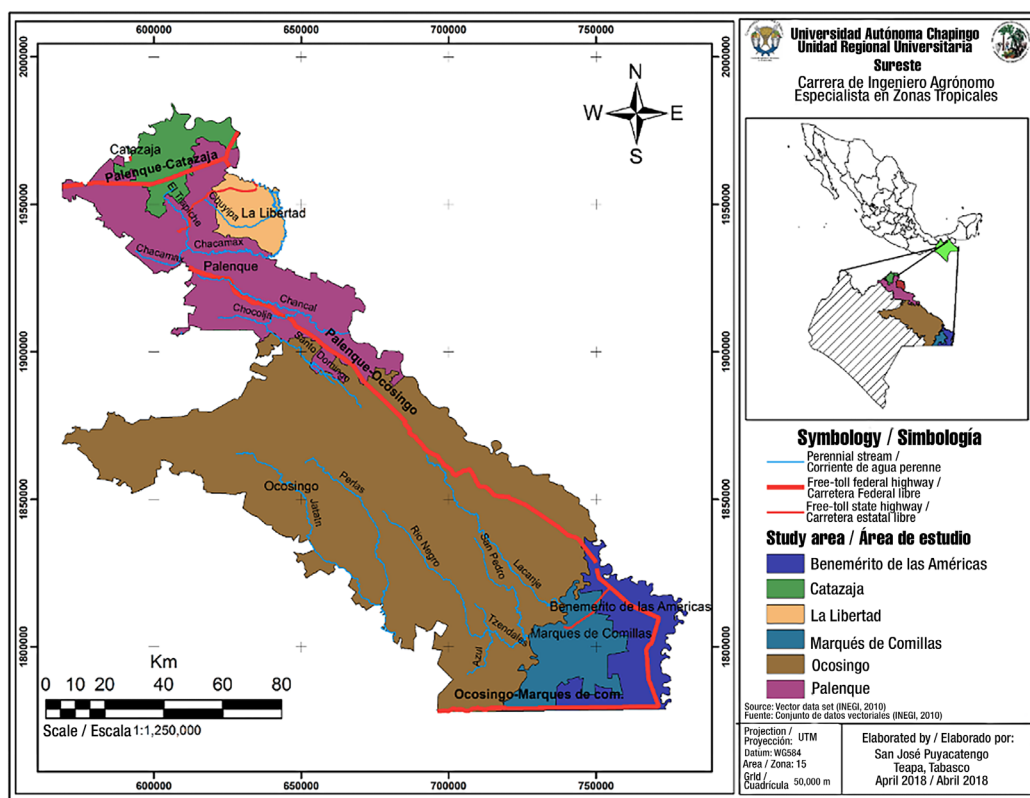


Figure 1. Location of the study area (elaborated with data of the INEGI, 2010).

Figura 1. Ubicación del área de estudio (elaboración con datos de INEGI, 2010).

warm sub-humid climate (1.14 % of the area), which is found in the municipality of Ocosingo. The temperature ranges go from 22 to 24 °C as a minimum and from 26 to 28 °C as the maximum, with the higher values in the municipalities of Benemérito de las Américas and Marqués de Comillas.

The eastern part of Chiapas has precipitation ranges from 1 500 to 3 000 mm per year, and values from 2 000 to 2 500 mm prevail, which meets the requirement of rains needed by the oil palm that goes from 1 800 to 2 000 mm. In this region, the rainy season is presented from May to November.

Within the municipalities of Catzajá, La Libertad, Palenque, Marqués de Comillas and Benemérito de las Américas, the plains with elevations ranging from 15 to 200 meters predominate, while in Ocosingo it can be seen a very rugged terrain, this is the steepest part with the greatest slope of the study area.

The predominant physiographic province in the study area is the Sierra de Chiapas and Guatemala., representing more than 80 %, to a lesser extent the coastal plain of the southern Gulf that covers only two municipalities, Catzajá and La Libertad, characterized because they are flat terrains with low slopes.

Características ambientales del área de estudio (INEGI, 2010)

En la zona de estudio predomina el clima cálido húmedo (81.21 %) y en pequeña proporción un clima semicálido subhúmedo (1.14 % de la superficie), el cual se encuentra en el municipio de Ocosingo. Los rangos de temperatura van de los 22 a los 24 °C como mínima y de 26 a 28 °C, en las máximas, observándose los valores más altos en los municipios de Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas.

El Oriente de Chiapas, tiene rangos de precipitación de 1 500 hasta 3 000 mm anuales, predominando valores de 2 000 a 2 500 mm, lo cual cumple con el requerimiento de lluvia de la palma de aceite que va de 1 800 a 2 000 mm. En esta región se presenta la temporada de lluvias de mayo a noviembre.

En los municipios de Catzajá, La Libertad, Palenque, Marqués de comillas y Benemérito de las Américas predominan las planicies con elevaciones que van de 15 a 200 metros, mientras que en Ocosingo se observa un terreno muy accidentado, esta es la parte abrupta y de mayor inclinación de la zona de estudio.

The predominant types of soils are Nitisol: red, Deep and enriched by clay on the surface; Rendzinas: shallow, little depth and clayey. To a lesser extent are Vertisols with high clay content and Regosols with high organic matter content.

Methodology

For the agro-ecological zoning, the “methodology proposed by the FAO (1997), adapted to the conditions of Mexico, was used” (Pájaro and Ortiz, 1992), with adjustments consisting of substitution of slope information by altitude, as well as its accommodation from the beginning of the methodological sequence to discard portions from the study area that are inadequate for the oil palm cultivation due to the elevation and steeply sloping land.

Cartography of the INEGI (2010) was used with a scale of 1:250,000 of the aforementioned municipalities, with which the location map was elaborated. We worked with the oil palm cultivation that has a high level of investment that supposes the approach of a mechanized or commercial agriculture and because we tried to find the best natural conditions for the establishment of the crop.

Subsequently, the climate inventory was developed, consisting of contrasting the hydrothermal requirements of the crop with what exists in the study area. From the climate information analysis, the growth periods were obtained, and in this way, we find the number of days per year in which the agro-climatic requirements for the oil palm cultivation are met. This information makes it possible to generate the first aptitude classification for the study area.

Then, we analyzed the edaphological characteristics of the study area and they were also compared with the requirements of the crop involved. The natural components of the soils, their textures and land inclination were reviewed, as well as the edaphological phases. During each step, an aptitude classification was developed, these were modified (degraded) or maintained, in concordance with the characteristics existent in the soils. At this stage, the second aptitude classification of the study area for the oil palm crop, was created.

The interpolation was conducted with the information obtained from the two inventories, it helped to obtain the agro-ecological zoning, which makes reference to the categorization of the aptitude classes resulting when combining the climate and soil information. In this way, the aptitudes of the study territory were defined for the selected crop, from which it as

La provincia fisiográfica predominante en el área de estudio es la sierra de Chiapas y Guatemala, representando más del 80 %, en menor proporción la llanura costera del Golfo sur que ocupa únicamente dos municipios, Catazajá y La Libertad, caracterizada por ser terrenos planos con poca pendiente.

Los tipos de suelo predominantes son: Nitisol: rojos, profundos y enriquecidos con arcilla en el perfil; las Rendzinas: someros, de poca profundidad y arcillosos. En menor proporción se encuentran suelos Vertisoles con alto contenido de arcilla y Regosoles con alto contenido de materia orgánica.

Metodología

Para la zonificación agroecológica se utilizó la “Metodología propuesta por la FAO (1997), adaptada a las condiciones de la República mexicana” (Pájaro y Ortiz, 1992), con adecuaciones consistentes en sustitución de información de la pendiente por altitud, así como el acomodo de esta desde el inicio de la secuencia metodológica para descartar zonas del área de estudio no adecuadas para el cultivo de la palma aceitera por elevación e inclinación del terreno.

Se utilizó cartografía de INEGI (2010) escala 1:250,000 de los municipios mencionados, con la que se elaboró el mapa de ubicación. Se trabajó con el cultivo de palma de aceite con un nivel de inversión alto que supone el enfoque de una agricultura mecanizada o comercial y porque se trató de encontrar las mejores condiciones naturales para el establecimiento del cultivo.

Posteriormente se realizó el inventario climático, consistente en contrastar los requerimientos hidrotérmicos del cultivo con lo existente en el área de estudio. A partir del análisis de la información climática se obtuvieron los periodos de crecimiento, encontrándose de esta manera el número de días al año en que se cumplen los requerimientos agroclimáticos para el cultivo de palma de aceite. Esta información permite generar la primera de las clasificaciones de aptitud del área en estudio.

Después se analizaron las características edafológicas del área de estudio y de igual manera se compararon con los requerimientos del cultivo en cuestión. Se revisaron los componentes naturales de los suelos, la textura de los mismos, la pendiente del terreno, así como las fases edafológicas. En cada paso se generó una clasificación de aptitudes, que se mantuvieron o modificaron (degradaron), de acuerdo con las características presentes en los suelos. En este momento se generó la segunda clasificación de aptitudes del área de estudio para el cultivo de palma de aceite.

possible to identify and prioritize their relevance, as well as the possibility of establishing the mentioned crop (Figure 2).

For the slope factor, categories were established according to the degree of inclination of the land proposed by Sandoval (2011) (Table 1).

Con la información obtenida en los dos inventarios, se procedió a la interpolación, a partir de la cual se obtuvo la zonificación agroecológica, misma que hace alusión a la categorización de las clases de aptitud resultantes al combinar la información climática y edafológica. Así se definieron las aptitudes del territorio en estudio para el cultivo seleccionado, a

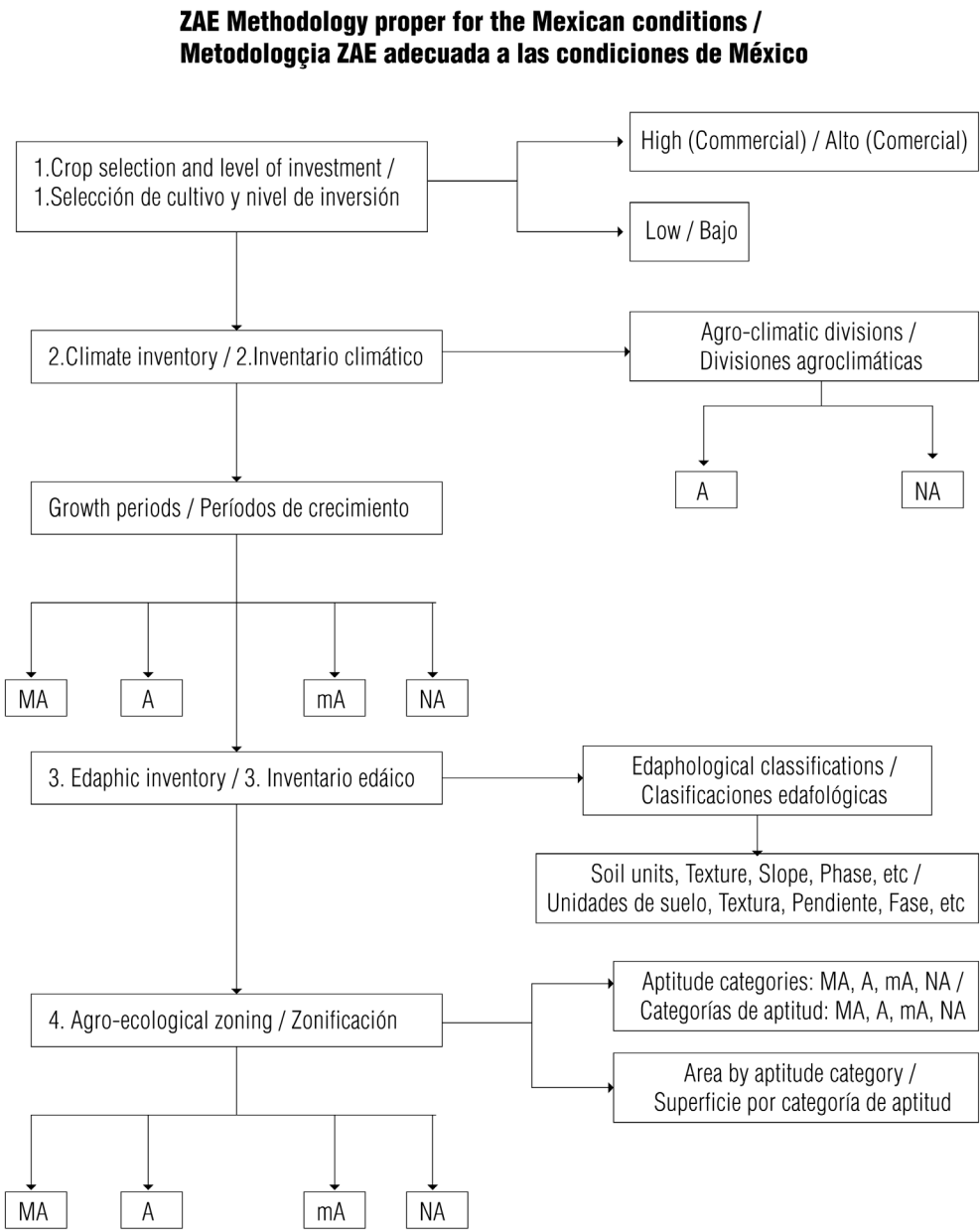


Figure 2. Methodology used for the study.

Figura 2. Metodología empleada en el estudio.

Adapted from Pájaro and Ortiz (1992). / Adaptado de Pájaro y Ortiz (1992).

Table 1. Categories by land inclination.
Cuadro 1. Categorías por pendiente del terreno.

Slope / Pendiente	Condition / Condición	Example / Ejemplo
0-12 %	Unrestricted slope (S1, O), it is not degraded / Pendiente sin restricciones (S1, O), no se degrada	MA=MA
12-25 %	With limitations (S2, 1) one class is degraded / Con limitaciones (S2, 1) se degrada una clase	MA=A
>30 %	Not suitable slope (NA) / Pendiente no apta (NA)	NA

Source: Sandoval, 2011. /

Fuente: Sandoval, 2011

The oil palm is properly developed at altitudes ranging 0-500 meters above sea level, because the methodology does not consider this factor as conditioning, the altitude standard was used to discard areas that exceed this range and at the same time, it associates strong slopes in the study area. To process the information, the ArcGis 10.4.1 software was used (ESRI, 2016).

Additionally, the cultivated area with oil palm within the study area was geo-referenced, this allowed to place the crops in the aptitude categories found and with this, defining its agro-ecological situation, this is, if palm is cultivated in the best edaphoclimatic conditions.

Results and discussion

Classification by climatic regions. It was found that due to this factor, the study area is suitable for the oil palm cultivation since the average temperatures are always above 18 °C, consequently there is no restriction, which matches with what was reported by Janick and Paull (2008), Ruiz et al. (2013) and SAGARPA (2017). Regarding the growth periods, three categories were found, and there were not “not suitable” areas (NA), most of the area is suitable (A) with 1,056 319.7 ha, followed by the very suitable areas (MA) with 497 651.3 ha, while the marginally suitable areas (mA) covered 3 165.2 ha of the total area (Table 2). This information expresses that most of the portion of the study area has the proper agro-climatic conditions to grow oil palm.

It can be seen that due to the natural availability of humidity and temperature, there are no restrictions for the oil palm to prosper and produce properly in the study area. However, it is important to consider the length of the regional dry season, as well as the number of days in some months in which it does not collect the necessary amount of rain, because it is a determinant factor for the fruit production in the oil

partir de lo cual se logró identificar y jerarquizar la importancia de estas, así como las posibilidades de establecimiento del cultivo en cuestión (Figura 2).

Para el factor pendiente se establecieron las categorías de acuerdo con el grado de inclinación del terreno propuesto por Sandoval (2011) (Cuadro 1).

La palma de aceite se desarrolla adecuadamente en altitudes que van de los 0-500 msnm, debido a que la metodología no considera este factor condicionante se utilizó la carta de altitud para descartar zonas que superan dicho rango y que a su vez asocia pendientes fuertes en la zona de estudio. Para el procesamiento de la información se utilizó el software ArcGis 10.4.1 (ESRI, 2016).

Adicionalmente se georreferenció la superficie cultivada con palma de aceite encontrada en el área de estudio, lo que permitió la ubicación del cultivo en las categorías de aptitud encontradas y con ello definir su situación agroecológica, es decir, si la palma se encuentra cultivada en las mejores condiciones edafoclimáticas.

Resultados y discusión

Clasificación por unidades climáticas. Se encontró que por este factor el área de estudio es adecuada para el cultivo de palma de aceite ya que las temperaturas medias siempre se encuentran por encima de los 18 oC, por lo que no existe restricción alguna, lo que coincide con lo reportado por Janick y Paull (2008), Ruiz et al. (2013) y SAGARPA (2017). Con respecto a los períodos de crecimiento, se encontraron tres categorías y no se encontraron áreas no aptas (NA), la mayor parte de la superficie es apta (A) con 1,056 319.7 ha, seguido de las zonas muy aptas (MA) con 497 651.3 ha, mientras que las zonas marginalmente aptas (mA) ocuparon

Table 2. Aptitude levels of the study area for the oil palm according to the classification by growth periods.
Cuadro 2. Niveles de aptitud del área de estudios para palma de aceite según la clasificación por períodos de crecimiento.

Aptitude level/ Nivel de aptitud	Area / Superficie		
	km ²	ha	%
MA	4 976.5	497 651.3	32
A	10 563.2	1 056 320	67.8
mA	31.7	3 165.2	0.2
Totals / Totales	15 571.4	1 557 136	100

Symbology: MA = very suitable, A = suitable and mA = marginally suitable.
Simbología: MA = muy apto, A = apto y mA = marginalmente apto.

palm and consequently in its productivity, matching with what was established by Gómez et al. (2022).

Classification by soil units. Only in the northwest, center and southeast regions of the study area, there are proper soils to grow oil palm, distributed throughout the area, we can find soils with some restriction to grow this palm, while in the largest proportion of the territory the soils are not suitable for establishing this crop, either because they are flooded or because they present a steep slope (Figure 3). These edaphological characteristics of the study area emphasize the impossibility of being able to use them to grow oil palm, for this, it is recommended to analyze the search for other alternative uses.

10 % of the territory corresponds to very suitable (MA) zones, with fertile and deep soils, characteristics that make it possible a good development of the oil palm. It also can be seen the existence of approximately 30 % of the areas defined as suitable (A) where there are conditions in which the crop could be established, however, there are some natural restrictions, therefore, if this crop is established, the yields could be affected. Thus, approximately, only 40 % of the study area there are soil units where oil palm can be grown, although it is evident that the largest proportion corresponds to soils with a particular limitation according to Sandoval (2011) and SAGARPA (2017). Not suitable areas (NA) predominate in 40 % of the total study area, here there are shallow soils that do not allow the development of the plant root system, Figure 4; in addition, they are not too fertile, which makes them even less usable to establish this crop.

3 165.2 ha of the total surface (Cuadro 2). This information manifests that the majority proportion of the study area counts with the agroclimatic conditions for the cultivation of oil palm.

Se observa que, por disponibilidad natural de humedad y temperatura, no existen restricciones para que la palma de aceite prospere y produzca adecuadamente en la zona de estudio. Sin embargo, habrá que tener presente la duración de la época de sequía regional, así como el número de días en algunos meses en donde no se reúne la cantidad necesaria de lluvia, pues este es un factor determinante en la producción de fruta en la palma de aceite y consecuentemente en su productividad, coincidiendo con lo planteado por Gómez et al. (2022).

Clasificación por unidades de suelo. Solo en la porción noroeste, centro y sureste del área de estudio se encuentran suelos adecuados para el cultivo de la palma de aceite; distribuidos a través del área se localizan suelos con alguna restricción para cultivar esta palma, mientras que en la mayor proporción del territorio los suelos no son adecuados para establecer este cultivo, ya sea porque son inundables o por presentar pendiente abrupta (Figura 3). Estas características edafológicas del área de estudio enfatizan la imposibilidad de poder utilizarse para cultivar palma de aceite, por lo que se recomienda analizar la búsqueda de otras alternativas de uso.

El 10 % del territorio corresponde a zonas muy aptas (MA), con presencia de suelos fértiles y profundos, características que los hacen adecuados para un buen

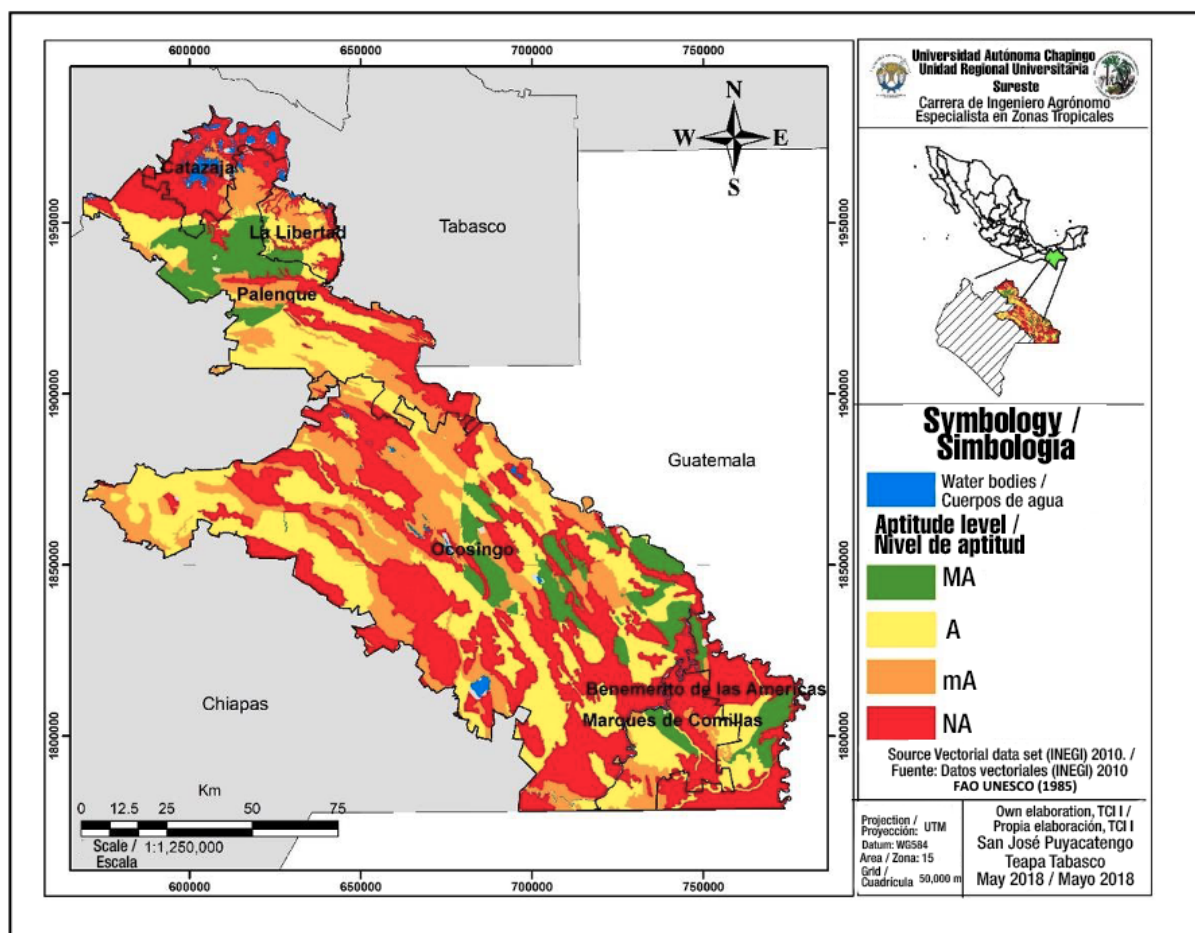
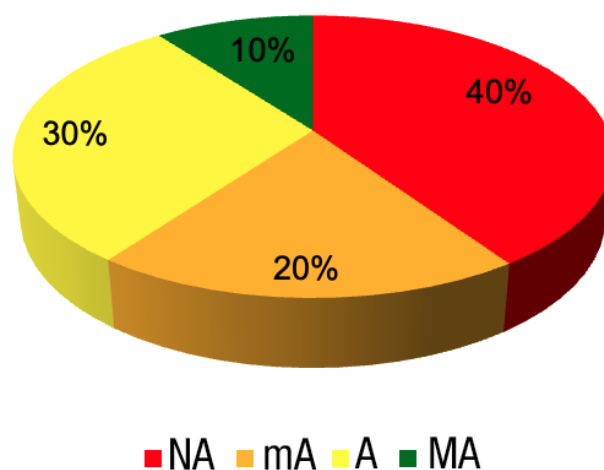


Figure 3. Classification by soil units in the eastern part of the state of Chiapas.

Figura 3. Clasificación por unidades de suelo en el oriente del estado de Chiapas.

Aptitude by soil unit / Aptitud por unidad de suelo



Symbology: NA = not suitable, mA = marginally suitable, A = suitable, MA = very suitable.

Simbología: NA = no apto, mA = marginalmente apto, A = apto, MA = muy apto.

Figure 4. Aptitude of the soils for the oil palm crop in the eastern part of the state of Chiapas.

Figura 4. Aptitud de los suelos para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

In quantitative terms, 155 462.2 ha are very suitable soils to grow oil palm, 450 871.3 ha are suitable soils, 296 852.8 ha are marginally suitable, while 614 058 ha, the largest territorial proportion, are not suitable soils for this crop, within this area, it is not recommended to establish the crop because there are not the appropriate edaphological conditions required by the plant.

Classification by textures. According to this characteristic, only the northwest and central-south part, and to a lesser extent, the southeast of the study area, show the best textures to grow the oil palm, while more than a third of the area has soils whose texture is not suitable for this crop. The texture component significantly affects the soil suitability for this crop, due to the present textures the not suitable proportion increases and those suitable and very suitable decrease. The “very suitable” category covers 116 210 ha while the “not suitable” category covers 648 487 ha, which shows that the texture of the soils within this territory has strong limitations to grow oil palm, in accordance with what was reported by Gómez et al. (2022). Only a small part of the territory has a high suitability, while more than two thirds of the territory is not suitable for the oil palm crop (Table 3).

Agro-ecological classification of the oil palm. When applying the aforementioned criteria set, the suitability categories are degraded, although slightly, maintaining a predominantly unsuitable mosaic in the study area and only conserving the northwestern and central eastern portions with the greatest suitability to grow the oil palm, which denotes the importance of the soil factor in the definition of suitability for this crop according to SAGARPA (2017) (Figure 5).

desarrollo de la palma de aceite. También se aprecia la existencia de aproximadamente 30 % de zonas definidas como aptas (A) donde existen condiciones en las que se podría establecer el cultivo; sin embargo, se tiene alguna restricción de tipo natural, por lo que de establecerse dicho cultivo pudieran verse afectados los rendimientos. Por tanto, aproximadamente, solo en el 40 % del área de estudio se cuenta con las unidades de suelo en los que se puede cultivar palma de aceite, aunque es evidente que la mayor proporción corresponde a suelos con cierta limitante de acuerdo con Sandoval (2011) y SAGARPA (2017). Predominan las zonas no aptas (NA), en un 40 % de la superficie total del área de estudio, donde existen suelos someros que no permiten el desarrollo del sistema radicular de la planta, Figura 4; además de esto, son poco fértiles, lo que los hace aún menos aprovechables para establecer este cultivo.

En términos cuantitativos 155 462.2 ha son suelos muy aptos para el cultivo de la palma de aceite, 450 871.3 ha son suelos aptos, 296 852.8 ha son marginalmente aptos, mientras que 614 058 ha, la mayor proporción territorial, son suelos no aptos para este cultivo, en esta superficie no se recomienda establecer el cultivo ya que no cuenta con las condiciones edafológicas que requiere la planta.

Clasificación por texturas. De acuerdo con esta característica solo la porción noroeste y centro sur, y en menor proporción el sureste del área de estudio presenta las mejores texturas para el cultivo de la palma de aceite, mientras que más de un tercio del área tiene suelos cuya textura no es adecuada para este cultivo. El componente textura afecta significativamente la

Table 3. Aptitudes of the soils from the eastern part of the state of Chiapas for the oil palm crop according to their textures. Cuadro 3. Aptitudes de los suelos del oriente del estado de Chiapas para cultivo de palma de aceite de acuerdo a sus texturas.

Aptitude level/ Nivel de aptitud	Area / Superficie		
	km²	ha	%
MA	1 162.105	116 210	7.7
A	4 311.072	431 107	28.4
mA	3 214.412	321 441	21.2
NA	6 484.875	648 487	42.7
Total	15 172	1 517 246	100

Symbology: MA = very suitable, A = suitable, mA = marginally suitable, NA = not suitable.
Simbología: MA = muy apto, A = apto, mA = marginalmente apto, NA = no apto.

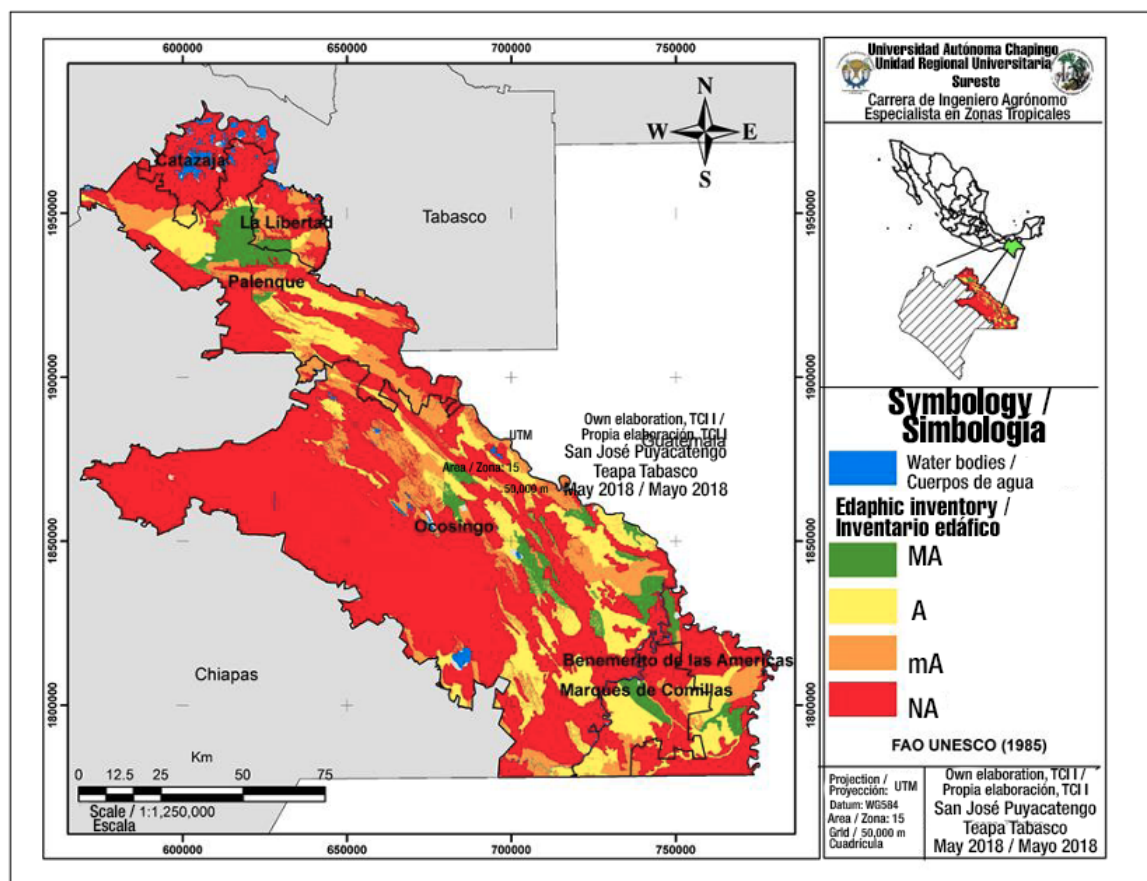


Figure 5. Agro-ecological classification for the oil palm crop in the eastern part of the state of Chiapas.

Figura 5. Clasificación agroecológica para cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

The study classified and quantified 61 991.4 ha as very suitable areas where there are the best climatic and edaphic conditions for the reference crop, most of these areas are located in the municipality of Palenque, representing 4 % of the total surface of the study area. In this way, we can say that the edaphoclimatic potential for the cultivation of this palm is about 62 000 ha and that, according to the calculation considering the established area, there is a larger susceptible area for its utilization to cultivate the oleaginous plant. We found that approximately 235 000 ha are classified as suitable zones (A), within this area, the palm crop could be established and it would not have many limitations, but it is clear that it does not strictly meet the requirements of the crop, in this case, the suitable areas represent 15.5 % and eventually could approach very suitable areas (MA) in production if the present edaphic limitations are fulfilled. The marginally suitable classification (mA) represents 14.6 % (221 228 ha), where the edaphic conditions show limitations that could be improved with the management (Table 4). If the crop is established, it could thrive, but it hardly will be similar in productivity to the suitable and very suitable areas.

aptitud de los suelos para este cultivo, por las texturas presentes se incrementa la proporción no apta y se reducen las clases apta y muy apta. La categoría muy apta ocupa 116 210 ha mientras que la categoría no apta ocupa 648 487 ha, lo que pone de manifiesto que la textura de los suelos de este territorio tiene fuertes limitantes para el cultivo de palma de aceite, coincidiendo con lo reportado por Gómez et al. (2022). Solo una pequeña proporción del territorio mantiene aptitud alta, mientras que más de dos tercios del territorio no es apto para el cultivo de la palma de aceite (Cuadro 3).

Clasificación agroecológica de la palma de aceite.

Al aplicar el conjunto de criterios antes señalados se degradan, aunque ligeramente, las categorías de aptitud, manteniendo un mosaico predominantemente no apto en el área de estudio y conservando solamente a las porciones noroccidental y centro oriental con la mayor aptitud para el cultivo de palma de aceite, lo que denota la importancia del factor suelo en la definición de aptitud para este cultivo de acuerdo con SAGARPA (2017) (Figura 5).

Table 4. Aptitude levels for the oil palm crop in the eastern part of the state of Chiapas.
Cuadro 4. Niveles de aptitud para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas.

Aptitude level/ Nivel de aptitud	Area / Superficie		
	km ²	ha	%
MA	620	61 991.4	4.1
A	2 350	235 021.7	15.5
mA	2 212	221 228.7	14.6
NA	9 990	999 004.5	65.8
Total	15 172	1 517 246	100

Symbology: MA = very suitable, A = suitable, mA = marginally suitable, NA = not suitable.
Simbología: MA = muy apto, A = apto, mA = marginalmente apto, NA = no apto.

Finally, 297 013.1 ha (19.6 %) are the surface of the study area that has the proper agro-ecological conditions to stablish the oil palm, where, if necessary, its cultivation could be boosted. However, it is important to consider that the largest area corresponds to the suitable (A) category, which has certain edaphological restrictions that should be solved for its utilization with this crop. The rest of the territory is not suitable to grow oil palm, so it is recommended to look for another form of utilization, according to its natural purpose.

It is also important to point out that only in the municipalities of Catazajá, la Libertad and Palenque, the palm crop established in adequate agro-ecological conditions was found, in many cases with inadequate agronomic management so that productive yields are low. In the case of plantations found in the municipalities of Benemérito de las Américas and Marqués de Comillas, they are located in the not suitable soils and, consequently, the productive yields are the lowest of the zone according to the reports of Sandoval (2011) and SIAP (2019).

Location of the palm crop in the study area

Of the nearly 16 000 hectares stablished with oil palm in the eastern part of the state of Chiapas, a small amount is located in the Very Suitable areas according to the conducted agro-ecological zoning, a lesser amount is located in Suitable areas, as well as those found in the marginally Suitable areas, while the large majority is in Not suitable areas (Figure 6). In accordance with these data, more than a half of the harvested area with this palm, is located in areas

El estudio clasificó y cuantificó 61 991.4 ha como zonas muy aptas en donde se tienen las mejores condiciones climáticas y edáficas para el cultivo de referencia, estas áreas están ubicadas en su mayor parte en el municipio de Palenque, representando el 4 % de la superficie total del área de estudio. De esta manera se tiene que, el potencial edafoclimático para el cultivo de esta palma es de alrededor de 62 000 ha y que, de acuerdo con la estimación que se tiene respecto a la superficie establecida, existe más superficie susceptible de aprovechamiento para cultivar la oleaginosa. Se encontró que alrededor de 235 000 ha se clasifican como zonas aptas (A), en esta superficie podría establecerse el cultivo de palma y no tendría muchas limitaciones, pero es claro que no cumple estrictamente con los requerimientos del cultivo, en este caso las zonas aptas representan el 15.5 % y eventualmente podrían acercarse en producción a las zonas muy aptas (MA) si se atienden las limitaciones edáficas que presentan. La clasificación marginalmente apta (mA) representa un 14.6 % (221 228 ha), en donde las condiciones edáficas presentan limitaciones que podrían mejorarse con manejo (Cuadro 4). Si se establece el cultivo, puede prosperar, pero difícilmente será productivamente similar a las zonas aptas y muy aptas.

Finalmente, 297 013.1 ha (19.6 %) es la superficie de la zona de estudio que reúne las condiciones agroecológicas adecuadas para el establecimiento de la palma aceitera y en la que de ser necesario se podría impulsar su cultivo. Sin embargo, habrá que considerar que la mayor superficie corresponde a la categoría apta (A), misma que mantiene ciertas

where the productive success cannot be guaranteed, consequently yields are low.

However, there are areas with very good agro-ecological conditions in which palm cultivation should preferably be established and thus, take advantage of the natural potential that exists in the area, which can result in better productive yields, as well as significant production volumes of fruit. Meanwhile, the areas until now established with palm, which are agro-ecologically not suitable, will be better to continue studying them until we find a possible agricultural or ecological use for them.

About 38 % of the area established with oil palm crop within the study area, corresponds to zones where good productive yields could be expected. However, only 3 366.3 hectares are found in places where the

restricciones edafológicas que se requerirían atender para poder utilizarse con este cultivo. El resto del territorio no es adecuado para cultivar palma aceitera, por lo que se recomienda buscar otra forma de aprovechamiento, acorde a su vocación natural.

También es importante señalar que solo en territorios municipales de Catuzajá, la Libertad y Palenque, se encontró el cultivo de palma establecido en condiciones agroecológicas adecuadas, en muchos casos con manejos agronómicos no adecuados por lo que los rendimientos productivos son bajos. En el caso de las plantaciones encontradas en los municipios de Benemérito de las Américas y Marqués de Comillas, se localizan en suelos no aptos para el cultivo y, por ello, los rendimientos productivos son los más bajos de la zona de acuerdo con lo reportado por Sandoval (2011) y SIAP (2019).

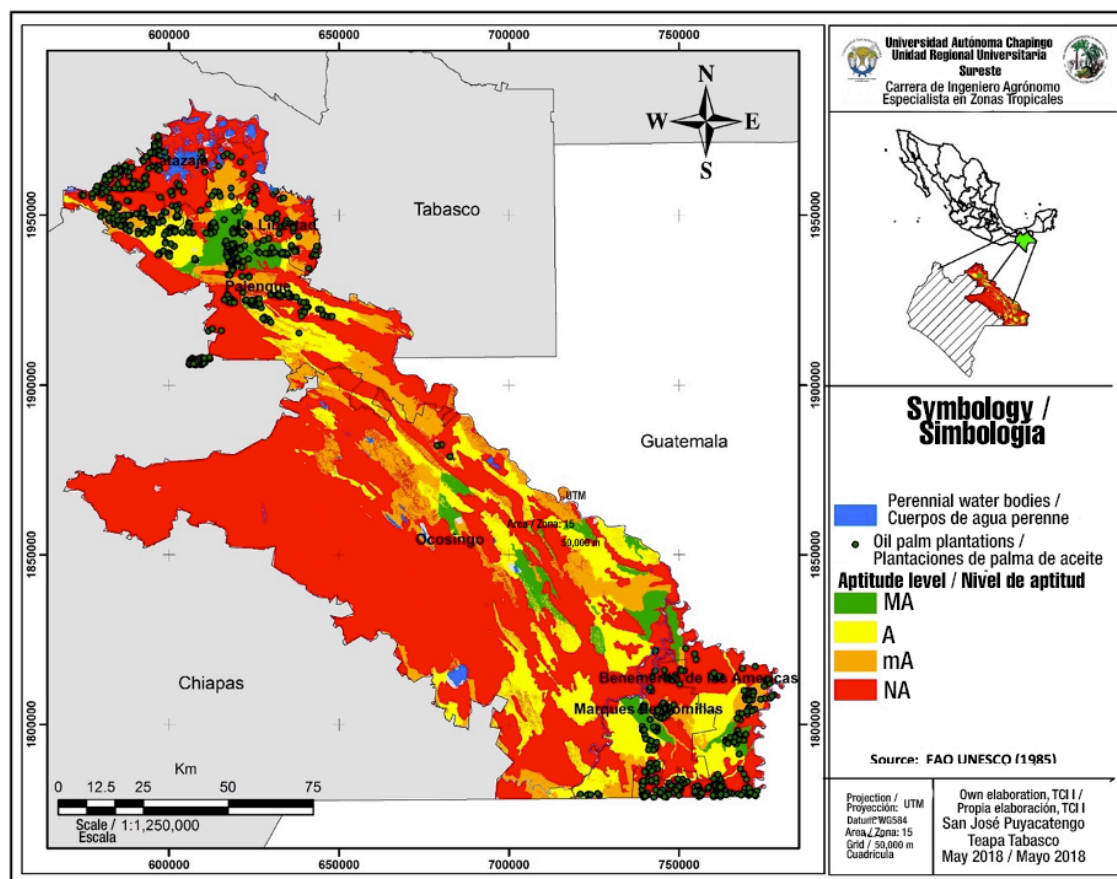


Figure 6. Location of the oil palm plantations in the eastern part of the state of Chiapas.

Figura 6. Ubicación de las plantaciones de palma de aceite en el oriente de Chiapas.

Table 5. Cultivated area with oil palm in the eastern part of Chiapas.
Cuadro 5. Superficie cultivada con palma de aceite en el oriente de Chiapas.

Aptitude level / Nivel de aptitud	Hectares / Hectáreas	Proportion (%) / Proporción (%)
MA	3 366.3	21.2
A	2 632.8	16.6
mA	1 789.3	11.3
NA	8 060.0	50.6
Total	15 848.46	100

Symbology: MA = very suitable, A = suitable, mA = marginally suitable, NA = not suitable.
Simbología: MA = muy apto, A = apto, mA = marginalmente apto, NA = no apto.

agro-ecological conditions are ideal for this crop, while the largest proportion (8 060 ha) is located within not suitable areas (Table 5).

More than a half of these plantations are within zones where the edaphoclimatic conditions required by the oil palm cultivation are not met, while 11 % are within areas where there are strong limitations for it. Thus, the productive yields in this plantations located in marginal and Not Suitable areas will be always low, even applying technology or improvements for their field management; their development and entry into production will be affected, as well as their productive life. On their part, those found within Suitable and Very Suitable areas, as they do not have natural limitations that affect their development, will manifest in a better way their productive potential, because they will not face unfavorable natural environmental conditions or these will be minimum, and if technological improvements or of proper management improvements are incorporated, they will reach their maximum productive at early age and their productive life will be favored.

Conclusions

There are no limitations for the oil palm crop caused by agro-climatic conditions in the easter part of the state of Chiapas because temperatures are higher than 18 °C, which are considered optimal for the crop development, in the same way, precipitation meets its water requirements.

The soil units, as well as its texture, are the main limitation because these are coarse; on the rocky,

Ubicación del cultivo de palma en el área de estudio

De las casi 16 000 hectáreas establecidas con palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas, una baja cantidad se localizan en zonas Muy Aptas según la zonificación agroecológica realizada, una cantidad menor se localizan en zonas Aptas, al igual que las encontradas en zonas marginalmente Aptas; mientras que la gran mayoría se encuentran en zonas No Aptas (Figura 6). De acuerdo con estos datos, más de la mitad de la superficie cultivada con esta palma se encuentra en zonas donde no se puede garantizar éxito productivo, por lo que los rendimientos son bajos.

Sin embargo, existen superficies con muy buenas condiciones agroecológicas en las que se debiera establecer preferentemente el cultivo de palma y así aprovechar el potencial natural que existe en la zona, lo que puede redundar en mejores rendimientos productivos, así como volúmenes de producción importantes de fruta. Mientras tanto, las áreas hasta ahora establecidas con la palma, agroecológicamente no aptas, será mejor continuar estudiándolas hasta encontrarles su posible uso agrícola o ecológico.

Alrededor de 38 % de la superficie establecida con el cultivo de palma de aceite en el área de estudio, corresponde a zonas en donde se puede esperar buenos rendimientos productivos. Sin embargo, solo 3 366.3 hectáreas se encuentra en áreas donde las condiciones agroecológicas son ideales para este cultivo, mientras que la mayor proporción (8 060 ha) están ubicadas en áreas no aptas (Cuadro 5).

shallow slopes, with low MO content, or very clay and floodable as it happens in the plains bordering the Gulf of Mexico.

61 000 ha (4 %) that are very suitable (MA), were mostly found in the municipality of Palenque, 235 000 ha (15 %) suitable (A), 221 000 ha (15 %) marginally suitable (mA) and to a greater extent, not suitable (NA) zones whose area is 999 000 ha (66 %), in other words, most of the proportion of the study area has this latest condition.

Most of the oil palm plantations are within areas that do not meet the agro-ecological requirements of the plant, this is the reason why the reported productive yields are low and even when technological improvements are implemented, they will hardly improve their productivity.

Acknowledgment

To the palm growers that, without any interest, offered experiences and information about their plantations. To the Associations of palm growers, and educational and official institutions for the facilities given to develop this study. To Mr. Erasmo Humberto Ramírez Figueroa, Farmer and president of the Sociedad Cooperativa de Palmeros Unidos con el Valle de Tulijá, S. C. de R. L. de C.V. To Engr. Jorge Luís Reyna from the Secretaría del Campo, Delegación VI Selva Palenque, Chiapas. To Dr. Arely Bautista Gálvez, teacher in the Escuela Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas. To MC. Héctor Cano Ascencio, Technician, and professional advisor for agricultural development in the study area. To M.Sc. Humberto Sánchez Bolón, Technical Manager of the Oleopalma company, agroindustrias de Palenque S. A. de C.V. To Mrs. Otilia Jiménez Silvano, oil palm Producer and representative of the group of palm growers of the Ejido Nueva Esperanza, Palenque, Chiapas. To Mr. Fausto Arcos Ruiz, Palm grower and president of the palm growers society Chancalá, Río Seco Palenque, Chiapas.

Más de la mitad de estas plantaciones se encuentran en zonas donde no se reúnen las condiciones edafoclimáticas que requiere el cultivo de la palma aceitera, mientras que 11 % lo están en zonas donde existen limitantes fuertes para la misma. Por tanto, los rendimientos productivos en estas plantaciones ubicadas en zonas marginales y No Aptas serán siempre bajos, aún con aplicaciones de tecnología o mejoras en su manejo en campo; su desarrollo y entrada en producción se verán afectados, así como su vida productiva. Por su parte, las encontradas en zonas Aptas y Muy Aptas, al no tener limitantes naturales que afecten su desarrollo, manifestarán de mejor manera su potencial productivo, ya que no enfrentarán condicionantes medioambientales naturales desfavorables o estas serán mínimas, y si se incorporan mejoras tecnológicas o de manejo adecuado alcanzarán su máximo productivo a temprana edad y su vida productiva se verá favorecida.

Conclusiones

Por condiciones agroclimáticas no se presentan limitaciones para el cultivo de palma de aceite en el oriente del estado de Chiapas, ya que las temperaturas son mayores a 18 °C, consideradas óptimas para el desarrollo del cultivo, de igual modo, la precipitación cumple con las necesidades hídricas de este.

Las unidades de suelo, así como su textura, son la principal limitante, debido a que estas son gruesas; en las laderas, poco profundas, pedregosas, con bajo contenido de MO, o muy arcillosas e inundables como sucede en las planicies aledañas al Golfo de México.

Se encontraron 61 000 ha (4 %) muy aptas (MA) ubicadas en mayor proporción en el municipio de Palenque, 235 000 ha (15 %) aptas (A), 221 000 ha (15 %) son marginalmente aptas (mA) y en mayor proporción zonas no aptas (NA) cuya extensión es de 999 000 ha (66 %), es decir que la mayor proporción del área de estudio tiene esta última condición.

La mayoría de plantaciones de palma de aceite se localizan en áreas que no reúnen los requerimientos agroecológicos que tiene la planta, razón por la cual los rendimientos productivos reportados son bajos y aun cuando se implementen mejoras tecnológicas difícilmente mejorarán su productividad.

Agradecimientos

A los palmicultores que sin ningún interés proporcionaron experiencias e información acerca de sus

End of English version

References / Referencias

- Barrios, R., Molina, D., Barreto, F., y Bastardo, J. (2001). Sintomatología asociada al déficit hídrico en plantaciones comerciales de palma aceitera en el estado Monagas. *Fonaiap Divulga* 68: 27-29.
- ESRI. (2016). Arcgis 10.4.1. Support.esri.com. Esri Support ArcMap 10.4 (10.4.1). <https://support.esri.com/es/products/desktop/arcgis-desktop/arcmap/10-4-1>. Consultado el 15 de abril de 2018.
- FAO. (1997). Zonificación agro-ecológica. Guía general. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Gómez, V. V., Pérez, C. T., Jiménez, R. R., Marcial, B. D. Y., Méndez, Á. F. J., Méndez, C. D. J., Pérez, B. J. A., Santiz, L. C. R., Tzopitl, C. J. G., y Zavaleta, G. A. (2022). Agro-ecological zoning for oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) in Soconusco, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 2(1): 17-32.
- INEGI. (2010). Geografía y medio ambiente. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/>. Consultado 4 de abril de 2018.
- Janick, J., y Paull, R. E. (2008). The Encyclopedia of fruit and nuts. Obtenido de http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.fitoica.com/ContentPages/2476053199.pdf. Consultado el 10 de abril de 2018.
- Mhanhmad, S., Leewanich P., Punsuvon, V., Chanprame, S., y Srinives, P. (2011). Seasonal effects on bunch components and fatty acid composition in Dura oil palm (*Elaeis guineensis*). *African Journal of Agricultural Research* Vol. 6(7), pp. 1835-1843, Obtenido de: http://www.academicjournals.org/article/article1381832912_Mhanhmad%20et%20al.pdf. Consultado el 10 de abril de 2018.
- Pájaro, H. D., y Ortiz, S. C. A. (1992). Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República mexicana. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Ruíz, C. J. A., Medina, G. G., González, A. I. J., Flores, L. H. E., Ramírez, O. G., Ortiz, T. C., Byerly, M. K. F., y Martínez, P. R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro técnico Número 3. Centro de investigación regional Pacífico centro, Campo experimental centro Altos de Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 366-369.
- SAGARPA. (2017). Palma de aceite mexicana. Planeación agrícola. Subsecretaría de Agricultura. México. 16 p.
- plantaciones. A las Asociaciones de palmicultores, e instituciones educativas y oficiales por las facilidades para la realización del presente trabajo. Al Sr. Erasmo Humberto Ramírez Figueroa productor y presidente de la Sociedad Cooperativa de Palmeros Unidos con el Valle de Tulijá, S. C. de R. L. de C.V. Al Ing. Jorge Luís Reyna de la Secretaría del Campo, Delegación VI Selva Palenque, Chiapas. A la Dra. Arely Bautista Gálvez, Profesora de La Escuela Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas. Al MC. Héctor Cano Ascencio, Técnico y asesor profesional del desarrollo agrícola en la zona de estudio. Al MC. Humberto Sánchez Bolón, Gerente técnico de la empresa Oleopalma, agroindustrias de Palenque S. A. de C.V. A la Sra. Otilia Jiménez Silvano, Productora de palma de aceite y representante del grupo de palmeros del Ejido Nueva Esperanza, Palenque, Chiapas. Al Sr. Fausto Arcos Ruiz, Palmicultor y presidente de la sociedad de palmeros Chancalá, Río Seco Palenque, Chiapas.

Fin de la versión en español

- Sandoval, E. A. (2011). Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur sureste de México: Trópico húmedo. Paquete tecnológico palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Establecimiento y mantenimiento. Centro Regional de Investigación Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México.
- SIAP. (2017). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado el 14 de abril de 2018.
- SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado 28 noviembre 2022.
- Touran, M. N., Wijana, G., Guharja, E. Aswidinnoor, A., y Yahya, S. 2001. Response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to water stress. *Menara Perkebunan*, 69(2):29-45.