

Análisis de la estructura vegetal de huertas frutícolas del sur de Yucatán, México*

Analysis of vegetation structure of fruit orchards from southern Yucatan, Mexico

José Padilla-Vega^{1§}, Juan José Jiménez Osornio¹ y Héctor Estrada Medina¹

¹Universidad Autónoma de Yucatán-Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Mérida, Yucatán. Carretera a Xmatkuil, km 15.5. A. P. 116. C. P. 9731. (josornio@uady.mx; hector.estrada@uady.mx). [§]Autor para correspondencia: jopave@gmail.com.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue el conocer la estructura arbórea de la unidad de riego, cuya extensión es de 65 ha dividida en 65 parcelas de 10 000 m² cada una, en las cuales se realizó un muestreo de 180 m² por parcela. Se registraron 1 565 individuos los cuales pertenecen a 40 especies, 28 géneros y 19 familias, su distribución horizontal se divide en cuatro doseles, el más alto abarcó especies como *Cocos nucifera*, *Manilkara zapota* y *Cedrela odorata* con alturas de entre 9 y 10 m. Los resultados de los índices estructurales ponen a *Sabal yapa* y *Citrus sinensis* como las especies más importantes. Se reconocieron cinco usos de suelo de los cuales el valor más alto en diversidad lo obtuvieron las parcelas agrosilvopastoriles. La unidad de riego se divide en diferentes sistemas agroforestales y cada uno de ellos tiene diferentes especies lo que le otorga una estructura única.

Palabras clave: agrobiodiversidad, árboles, sistemas agroforestales, Tzucacab.

Introducción

La agroforestería es una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales: 1) existen al menos dos tipos de plantas que interactúan biológicamente;

Abstract

The aim of this study was to know the tree structure of the irrigation unit, whose area is 65 hectares divided into 65 plots of 10 000 m² each, in which a sample of 180 m² per plot was performed. 1565 individuals which belong to 40 species, 28 genera and 19 families, were recorded; its horizontal distribution is divided into four canopies, the highest covered species such as *Cocos nucifera*, *Manilkara zapota* and *Cedrela odorata* with heights ranging from 9 to 10 m. The results from structural indices place *Sabal yapa* and *Citrus sinensis* as the most important species. Five uses of land were recognized of which the highest value obtained in diversity were obtained by agroforestry plots. The irrigation unit is divided into different agroforestry systems and each one of them has different species which gives them a unique structure.

Keywords: agro biodiversity, agroforestry systems, trees, Tzucacab.

Introduction

Agroforestry is a form of multiple cropping in which three fundamental conditions are met: 1) there are at least two types of plants that interact biologically; 2) at least one component

* Recibido: enero de 2015
Aceptado: mayo de 2015

2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne; y 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos) (Somarriba, 1990). En los sistemas agroforestales la productividad puede ser definida como la capacidad de un sistema para brindar el nivel requerido de bienes y servicios en un tiempo determinado (Masera *et al.*, 1999). Una de las principales características de los sistemas agroforestales (SAF's) es la diversificación de las especies y la conservación de suelos y agua (Rice y Greenberg, 2000), en la que los árboles son fundamentales ya que desempeñan diferentes funciones ecológicas en el sistema de producción. Además, contribuyen al abastecimiento de productos como la madera, el alimento, el forraje, la leña, las resinas, las medicinas, los aceites entre otros (Nair, 1993).

Actualmente están tomando importancia en el sur de Yucatán sistemas de producción como las huertas diversificadas, las cuales se han generado como una alternativa al modelo fallido de producción en monocultivo de cítricos del plan *Chac* iniciado en 1964 (Villanueva, 1994). En su mayoría las huertas diversificadas están compuestas por diferentes especies arbóreas y de acuerdo a la clasificación de Farrell y Altieri (1999) las huertas frutícolas son sistemas agroforestales y la diversidad de sus componentes en los SAF's los posiciona con gran importancia en la conectividad del paisaje entre selvas, zonas de amortiguamiento y áreas de transición (Götz y Harvey, 2007; Merem *et al.*, 2012).

Este estudio tuvo como objetivo el caracterizar la estructura arbórea de la unidad de riego llamada Tzucacab 1, ya que actualmente todas las parcelas de la unidad de riego son consideradas como un mismo tipo de paisaje (Maldonado, 2012). En sus inicios éstas parcelas tuvieron el mismo manejo la producción de cítricos, sin embargo a través del tiempo se han ido diversificando y podrían ser ahora consideradas como áreas importantes en la conexión del paisaje, conservación de fauna silvestre y captura de carbono de la región.

Metodología

El municipio de Tzucacab se localiza en la zona sur del estado de Yucatán, México entre los paralelos 19° 38' y 20° 09' de latitud norte y los meridianos 88° 59' y 89° 14' de longitud oeste, tiene una altitud promedio de 36 m (INEGI, 2012). El clima según la clasificación de Köppen modificada por García (1988) es Awo" correspondiente a cálido subhúmedo,

is a woody plant; and 3) at least one component is a plant with agricultural purposes (including fodder) (Somarriba, 1990). In agroforestry systems productivity can be defined as the capability of a system to provide the required level of goods and services in a given time (Masera *et al.*, 1999). One of the main characteristics from agroforestry systems (SAF's) is species diversification and soil and water conservation (Rice and Greenberg, 2000), in which trees are fundamental, as they play different ecological roles in the production systems; contributing also to the supply of products such as wood, food, fodder, firewood, resins, medicines and oils among others (Nair, 1993).

Currently productions systems like market garden are gaining importance in southern Yucatan, which have been generated as an alternative to the failed production model of citrus as monoculture from the *Chac* plan launched in 1964 (Villanueva, 1994). Most market gardens are composed by different tree species and according to Farrell and Altieri classification (1999) fruit orchards are agroforestry systems and the diversity of its components in SAF's, place them with great importance in landscape connectivity between forests, buffer zones and transition areas (Götz and Harvey, 2007; Merem *et al.*, 2012).

This study aimed to characterize the tree structure from the irrigation unit called Tzucacab 1, as all plots from the irrigation unit are considered the same type of landscape (Maldonado, 2012). In the beginning these plots had the same management for citrus production, but over time have diversified and now these could be considered as important areas in connecting landscape, wildlife conservation and carbon sequestration in the region.

Methodology

Tzucacab Municipality is located in the southern region of Yucatan, Mexico between parallels 19° 38' and 20° 09' north latitude and longitudes 88° 59' and 89° 14' west; it has an average altitude of 36 m (INEGI, 2012). According to Köppen classification modified by García (1988) the climate is Awo" corresponding to warm humid, with summer rains. The average annual temperature is 25.8 °C and the annual rainfall 1 061.2 mm. According to Mayan soil classification, the most predominant are Tselkel and K'ankab (García-Gil *et al.*, 2014) corresponding to leptosol and chromic luvisol respectively, according to WRB

con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 25.8 °C y la precipitación media anual alcanza los 1 061.2 mm. De acuerdo con la clasificación de suelos mayas los más predominantes son del tipo Tsekel y K'ankab (García-Gil *et al.*, 2014) correspondientes a Leptosol y Luvisol crómico respectivamente, de acuerdo a la clasificación de la WRB (Estrada-Medina *et al.*, 2013) que al igual que en otros sitios de la península de Yucatán se encuentran distribuidos en parches de diversos tamaños.

Las actividades primarias de la zona son: la producción de bovinos y la fruticultura, siendo esta última la más antigua. En el área frutícola se encuentran las 65 parcelas de 1ha cada una, estas corresponden a la asociación de productores llamada "módulo de riego para el desarrollo rural de Tzucacab A. C." (Tzucacab 1). Se trabajó con las 65 parcelas, cada una de ellas de 100 x 100 m. La selección del sitio de estudio se debió a que la organización mencionada demostró amplia disponibilidad de colaborar, además de tener 50 años de haber sido constituida y ser de las primeras en la zona.

Determinación del tipo de SAF de las huertas. Se realizaron 65 transectos, uno por parcela (Gallardo *et al.*, 2010). Estos fueron realizados en forma de zig zag con una distancia de 30 m entre quiebre y quiebre, haciendo un total de 90 metros lineales y con un ancho de 20 m (10 m a la derecha y 10 m a la izquierda sobre la línea del transecto) cubriendo un área de 180 m² por parcela (Braun-Blanquet, 1979; Bonham, 1989). Las especies arbóreas que se registraron fueron las que tenían más de 1.30 m de altura, a estas también se les midió otras variables dasométricas como la altura total, el diámetro mayor y menor de la copa. La agrupación de los árboles se hizo por su altura en intervalos de un metro, comenzando por el valor más bajo obtenido. Para el registro e identificación taxonómica de las especies arbóreas se usó el trabajo de Arellano- Rodríguez *et al.*, (2003), la guía de árboles de Pennington y Sarukhán (2005) y el documento de Peña-Chocarro y Knapp (2011), los ejemplares fueron colectados y depositados en el herbario Alfredo Barrera Marín de la Universidad Autónoma del estado de Yucatán.

Para medir la riqueza se utilizó el índice de Margalef el cual es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada (Magurran, 1998; Halffter, 2005) con la siguiente fórmula:

classification (Estrada-Medina *et al.*, 2013) which, as in other places of the Yucatan Peninsula these are distributed in patches of various sizes.

The primary activities of the area are: cattle and fruit farming, being the latter the oldest. In fruit farming there are 65 plots of 1 ha each, these correspond to a producers association called "irrigation module for rural development of Tzucacab AC" (Tzucacab 1). The work was carried out in the 65 plots, each 100 x 100 m. The study area was selected due to the above organization showed a wide availability in collaborating, in addition of being 50 years old and one of the first organizations in the area.

Determination of SAF type from the orchards. 65 transects, one per plot (Gallardo *et al.*, 2010) were performed. These were made in zig zag with a distance of 30 m between break and break, making a total of 90 linear meters and a width of 20 m (10 m to the right and 10 meters to the left on the transect line) covering an area of 180 m² per plot (Braun-Blanquet, 1979, Bonham, 1989). Tree species recorded, were those with more than 1.30 m height, to these were measured other forest variables like overall height, larger and smaller diameter of canopy cover. Tree grouping was made by height in meter intervals, starting with the lowest value obtained. For the record and taxonomic identification of tree species the work from Arellano- Rodríguez *et al.* (2003), the guide tree from Pennington and Sarukhan (2005) and the document from Peña-Chocarro and Knapp (2011) was used; the specimens were collected and placed in the herbarium Alfredo Barrera Marín at the Autonomous University of Yucatan state.

To measure richness, Margalef index was used; which is a measure used in ecology to estimate the biodiversity of a community based on the numerical distribution of individuals from the different species in function of the number of individuals in the sample (Magurran, 1998; Halffter, 2005) with the following formula:

$$Mg = \left(S - \frac{1}{\ln N} \right)$$

Where: S= number of species; N= total number of individuals.

For diversity analysis, Simpson index (1949) was used, which is based on the proportional abundance of species using the following formula:

$$Mg = \left(S - \frac{1}{\ln N} \right)$$

Donde: S= número de especies; N= número total de individuos.

Para el análisis de diversidad se empleó el índice de Simpson (1949) el cual se basa en la abundancia proporcional de las especies utilizando la siguiente fórmula:

$$\lambda \text{ simp} = 1 - \sum_{i=1}^k \frac{n_i(n_i - 1)}{n(n - i)}$$

Donde: ni= número de individuos de la especie i; N= número total de individuos; y para una mejor comprensión de la estructura de las parcelas, se agruparon por tipo de uso de suelo y se les calculó el índice de valor de importancia (IVI) y el índice de valor forestal (IVF) los cuales arrojan información relevante sobre las especies dominantes en las parcelas. Para ello se emplearon las fórmulas propuestas por Curtis y McIntosh (1951).

Análisis de datos. Con los datos de las especies encontradas por parcela se realizó un análisis de clúster con el método Wardis y distancia Euclidiana usando el software de estadística Minitab, 17. Los análisis de diversidad se hicieron con el software Past 3.0.

Resultados

Uso del suelo en las parcelas. De acuerdo a la clasificación de sistemas agroforestales de Nair (1993) y la de Farrell y Altieri (1999) las parcelas de la unidad de riego se pueden clasificar en i) sistemas agroforestales multipropósito abandonadas (SAMA), que son todas aquellas parcelas que no han recibido manejo o sido cosechadas desde hace más de tres años, aunque en ellas se encuentren plantas maderables, palmas e incluso cítricos en producción y otros frutales; ii) sistemas agroforestales multipropósito activos (SAM), en esta categoría entran las parcelas que tienen especies frutales en un porcentaje mayor o igual a las maderables y palmas, además de encontrarse actualmente en manejo; iii) sistemas agrosilvícolas (AGSV), son aquellas parcelas que se encuentran en uso con cultivos de ciclo corto como el maíz (*Zea mays* L.), papaya (*Carica papaya* L.), sandía (*Citrullus lanatus* L.), melón (*Cucumis melo* L.), chile (*Capsicum annuum* L.) entre otras, intercaladas con árboles; iv) huertas citrícolas (HC), son las parcelas en las que se encuentran

$$\lambda \text{ simp} = 1 - \sum_{i=1}^k \frac{n_i(n_i - 1)}{n(n - i)}$$

Where: ni= number of individuals from the species i; N= total number of individuals; and for a better understanding of the plot structure, this were grouped by type of land use and its importance value (IVI) and forest value index (IVF) were calculated, which provide relevant information on dominant species in the plots. The formulas proposed by Curtis and McIntosh (1951) were used.

Data analysis. With the data collected by species per plot, a cluster analysis was made using the Wardis method and Euclidean distance using the statistical software Minitab 17. The diversity analysis was made with Past 3.0 software.

Results

Land use in the plots. According to the agroforestry systems classification from Nair (1993) and Farrell-Altieri (1999), plots from the irrigation unit can be classified into i) abandoned multipurpose agroforestry systems (SAMA), which are all those parcels that have not received management or been harvested for more than three years, although this have woody plants, palms and even citrus and other fruit trees; ii) active multipurpose agroforestry systems (SAM), this category includes plots that have fruit species in higher or equal percentage to woody plants and palm, in addition to being managed; iii) agroforestry systems (AGSV), are those plots that are in use with short cycle crops such as maize (*Zea mays* L.), papaya (*Carica papaya* L.), watermelon (*Citrullus lanatus* L.), melon (*Cucumis melo* L.), pepper (*Capsicum annuum* L.) among others, interspersed with trees; iv) citrus orchards (HC) are the plots in which there are mainly citrus plants and in lesser proportion palms and woody plants; and v) agroforestry systems (AGSP) in these plots can be found fruit species, grass and animals such as pigs, poultry and sheep, among the animals found there were confined and free.

Land use categories that occupy greater surface are abandoned and active multipurpose agroforestry systems with 25 ha each. Land use that ranking third is agroforestry (AGSP) with six ha, followed by citrus orchards with five ha and at last the agroforestry systems (AGSV) with four ha.

principalmente plantas de cítrico y en menor proporción palmas y maderables; y v) sistemas agrosilvopastoriles (AGSP), en estas parcelas se puede encontrar tanto especies frutales, pastos y animales como cerdos, aves y ovinos, entre los animales que se encontraron hubo confinados y libres.

Las categorías de uso de suelo que mayor superficie ocupan son los sistemas agroforestales multipropósito abandonados y activos con 25 ha cada uno. El uso de suelo que ocupa el tercer lugar en superficie ocupada es el uso agrosilvopastoril con seis ha, seguida por las huertas citrícolas con cinco ha, y por último se encuentran los sistemas agrosilvícolas con cuatro hectáreas.

El número total de individuos registrados en la unidad de riego fue de 1 565, correspondientes a 40 especies pertenecientes a 28 géneros y 19 familias de plantas, la familia de las Rutaceae fue la que mayor número de especies presentó (Cuadro 1). La especie que con mayor frecuencia se encontró fue *Citrus sinensis* (L). Osbeck en 50 parcelas con 278 individuos, seguida por *Sabal yapa* la cual se registró en 42 parcelas y fue la segunda especie con mayor número de individuos (164). Las especies que registraron muy poco fueron *Citrus limonia* y *Tamarindus indica* encontrándose solo en tres y cuatro parcelas respectivamente.

The total number of individuals recorded in the irrigation unit was 1 565, of which 40 species belong to 28 genera and 19 families, Rutaceae recorded the highest number of species (Table 1). The species with highest frequency was *Citrus sinensis* (L). Osbeck in 50 plots with 278 individual, followed by *Sabal yapa* which was recorded in 42 plots and was the second species with the highest number of individuals (164). The species that recorded very little were *Citrus limonia* and *Tamarindus indica* found in three and four plots respectively.

According to growth cycle of recorded species, 14 are evergreen, 14 semi-evergreen and 12 deciduous. 16 species with two or more uses and 24 species are identified with a single use. Regarding to the appearance of the species there is a total of 37 trees and three bushes.

The number of tree species that can be found by plot in the irrigation unit Tzucacab 1 ranges from 1 to 17. The plots that had higher number of individuals corresponded to SAM land use and in contrast the ones with lower number of individuals thus family, genus and species were recorded as AG, this is due to farmers give priority to annual crops and trees are used as signs on the boundaries of the field work.

Cuadro 1. Principales especies de mayor frecuencia en la unidad de riego Tzucacab 1.

Table 1. Main species with higher frequency in the irrigation unit Tzucacab 1.

Familia	Nombre científico	Nombre común	Núm. de individuos	Frecuencia
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L). Osbeck	Naranja dulce	278	50
Arecaceae	<i>Sabal yapa</i> C. Wright ex Beccari	Guano	164	42
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> M. Roem	Cedro	79	30
Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	Zapote	46	29
Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore y Stearn	Mamey	41	28
Rutaceae	<i>Citrus aurantium</i> L.	Naranja agria	78	24
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	41	23
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Ramón	52	23
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Coco	39	22
Myrtaceae	<i>Psidium sartorianum</i> (O. Berg) Nied.	Guayabillo	58	21
Annonaceae	<i>Annona squamosa</i> L.	Saramuyo	42	19
Arecaceae	<i>Coccothrinax readii</i> H. J. Quero	Chit	51	19
Rutaceae	<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle	Limón	57	19
Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Mandarina	27	19

De acuerdo con la forma de vida las especies reportadas se encontraron 14 perennifolias, 14 subperennifolias y 12 caducifolias. Se identifican 16 especies con dos o más usos y 24 especies con un solo uso. Con respecto a la fisonomía de las especies se tiene un total de 37 árboles y tres arbustivas.

El número de especies arbóreas que se pueden encontrar por parcela en la UR Tzucacab 1 varía de 1 hasta 17. En las parcelas que mayor número de individuos se encontró fue en las correspondientes al uso de suelo de SAM y en contraste en las que menor número de individuos se encontró así como de familias, género y especies fueron las registradas como AG, esto debido a que los agricultores prefieren dar prioridad a los cultivos anuales y los árboles son empleados como señas en las colindancias del terreno de labor.

El número de individuos más alto se registró en las parcelas con uso de suelo SAM con 690, en contraste el valor más bajo lo presentó las parcelas en uso de suelo AG con 29 individuos. Con base en los resultados de diversidad se muestra las parcelas agrosilvopastoriles con el valor más alto con 0.9398, seguido por las SAM con 0.9344, el valor más bajo lo presentaron las parcelas agrosilvícolas, para este caso fue un valor de 0.8419.

El análisis de conglomerados realizado con los datos de frecuencia de las especies de cada parcela mostró cuatro grupos con semejanza florística (Figura 1). El primer grupo está integrado por 13 parcelas, las cuales se distribuyen en uso agrosilvopastoril, SAM y SAMA. El segundo grupo y más pequeño, se compone de nueve parcelas, tres son dedicadas a la citricultura, cinco son SAMA y una es SAM. Un tercer grupo y el más grande, está conformado por 22 parcelas, y es bastante heterogéneo, pues se compone por todos los tipos de usos de suelo. Por último se tiene 19 parcelas que forman el cuarto grupo, en su mayoría se compone por SAM y SAMA, con excepción de una que corresponde al uso de suelo de agrosilvopastoril.

Análisis estructural de las parcelas. Con base en los promedios de la altura de cada especie se encontraron cuatro estratos en las parcelas de la UR. El primero lo comprenden árboles de entre 9 y 10 m de altura con especies como *Cocos nucifera*, *Cedrela odorata* y *Manilkara zapota*, el segundo estrato está integrado por *Mangifera indica*, *Pouteria sapota*, *Persea americana*, *Tamarindus indica*, *Brosimum alicastrum* con alturas que van desde los 7.65 hasta los 8.73 m. El tercer estrato se constituyó por *Coccothrinax readii*, *Chrysophyllum caimito*, *Byrsonima crassifolia*, *Sabal yapa*, *Anonamuricata*, *Melicoccus bijugatus*,

The highest number of individuals was recorded in the plots with land use SAM with 690; in contrast the lowest value was in plots with land use AG with 29 individuals. Based on the diversity results it is shown that agroforestry plots with the highest value 0.9398, followed by SAM with 0.9344, the lowest value was for agroforestry plots with 0.8419.

The cluster analysis performed with frequency data of species in each plot showed four groups with floristic similarity (Figure 1). The first group consists of 13 plots, which are distributed in SAM and SAMA. The second group and smaller, consist of nine plots, three are citrus, five are SAMA and one is SAM. A third group and the largest consist of 22 plots, and it is quite heterogeneous, as it is composed by all types of land uses. Finally 19 plots made the fourth group consisting of SAM and SAMA, except one which corresponds to agroforestry (AGSP).

Structural analysis of the plots. Based on average height of each species four strata were identified in the plots from the irrigation unit. The first include trees between 9 and 10 m height with species as *Cocos nucifera*, *Cedrela odorata* and *Manilkara zapota*, the second strata consist of *Mangifera indica*, *P. sapota*, *Persea americana*, *Tamarindus indica*, *Brosimum alicastrum* with heights ranging from 7.65 to 8.73 m. The third strata is formed by *Coccothrinax readii*, *Chrysophyllum caimito*, *Byrsonima crassifolia*, *Sabal yapa*, *Anona muricata*, *Melicoccus bijugatus*, *Bursera simaruba*, *Parmentiera aculeata*, *Luehea speciosa*, *Anona squamosa*, *Leucaena leucocephala*, *Psidium guajaba*, *Acrocomia aculeata* and *Cordia dodecandra* whose heights ranged between 5.23 and 6.35. Heights found in the fourth strata ranged from 3.3 m to 4.9 m, corresponding to species like *Spondias purpurea*, *Crecentia cujete*, *Phyllanthus acidus*, *Acacia collinsii*, *Guettarda combsii*, *Citrus paradisi*, *Bixa Orellana*, *Citrus sinensis*, *Citrus limetoides*, *Citrus aurantifolia*, *Citrus volkameriano*, *Muntingia calabura*, *Citrus aurantium* and *Citrus reticulata*.

The species that obtained the highest importance value index (IVI) in the SAMA plots were *Sabal yapa* with 64.25, followed by *Coccothrinax readii* with 27.38. On SAM plots the species with higher value are *Citrus sinensis* 60.10 and *Cedrela odorata* 27.69. Regarding to agroforestry plots the species with highest values were *Cedrela odorata* and *Sabal yapa* with 34.44 and 29.29 respectively. The species with highest value in the agroforestry category were *Sabal yapa* and *Citrus aurantium* with values of 40.69 and 97.7 respectively. In citrus orchards *Sabal yapa* also presented

Bursera simaruba, *Parmentiera aculeata*, *Luehea speciosa*, *Anona squamosa*, *Leucaena leucocephala*, *Psidium guajaba*, *Acrocomia aculeata* y *Cordia dodecandra* cuyas alturas oscilaron entre los 5.23 y los 6.35. En el cuarto estrato se encontraron alturas de 3.3 m hasta 4.9 m correspondientes a especies como *Spondias purpurea*, *Crescentia cujete*, *Phyllanthus acidus*, *Acacia collinsii*, *Guettarda combsii*, *Citrus paradisi*, *Bixa Orellana*, *Citrus sinensis*, *Citrus limetoides*, *Citrus aurantifolia*, *Citrus volkameriano*, *Muntingia calabura*, *Citrus aurantium* y *Citrus reticulata*.

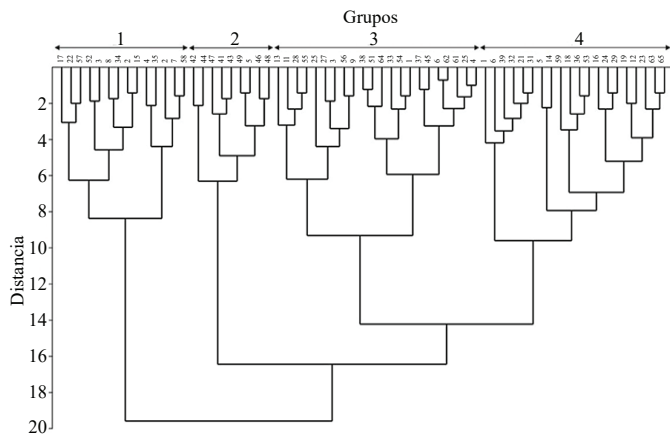


Figura 1. Dendrograma resultante del análisis de semejanza florística con las especies arbóreas encontradas en las parcelas de la UR Tzucacab 1.

Figure 1. Resulting dendrogram from floristic similarity analysis with tree species found in plots from the irrigation unit Tzucacab 1.

Las especies que tuvieron los valores más altos del índice de valor de importancia (IVI) en las parcelas identificadas como SAMA fueron *Sabal yapa* con 64.25, seguida por *Coccothrinax readii* con 27.38. En las parcelas de SAM las especies con mayor valor son *Citrus sinensis* con 60.10 y *Cedrela odorata* con 27.69. Con respecto a las parcelas agrosilvopastoriles las especies que presentaron los valores más altos fueron *Cedrela odorata* y *Sabal yapa* con 34.44 y 29.29 respectivamente. Las especies de mayor valor en la categoría de parcelas agroforestales fueron *Sabal yapa* y *Citrus aurantium* con valores de 40.69 y 97.7 respectivamente. En las huertas cítricas *Sabal yapa* también presentó valores altos, y en segundo lugar *Citrus reticulata* con 26.58 (Cuadro 2). Los resultados del índice de valor de importancia forestal (IVF) vuelven a colocar a *Sabal yapa* como una especie importante en las parcelas de SAMA y agrosilvopastoriles, ya que se encontró como la especie con los valores más altos. En las parcelas correspondientes a SAM y huertas cítricas las especies más importantes fueron *Citrus sinensis* y *Cocos nucifera*.

high values and *Citrus reticulata* in second place with 26.58 (Table 2). The results of the forestry importance value (IVF) repositioned *Sabal yapa* as an important specie in SAMA and agroforestry plots, since it was found as the species with the highest value. In the corresponding plots to SAM and citrus orchards the most important species were *Citrus sinensis* and *Cocos nucifera*.

Cuadro 2. Resultado de las especies más importantes de acuerdo al IVI y IVF.

Table 2. Results of the most important species according to IVI and IVF.

SAF'S	Especie	IVI	Especie	IVF
SAMA	<i>Sabal yapa</i>	64.25	<i>Sabal yapa</i>	48.235
	<i>Citrus sinensis</i>	27.38	<i>Citrus sinensis</i>	33.752
	<i>Coccothrinax readii</i>	25.61	<i>Citrus aurantium</i>	21.159
	34 Especies restantes	182.8	34 Especies restantes	196.84
SAM	<i>Citrus sinensis</i>	60.1	<i>Citrus sinensis</i>	53.817
	<i>Cedrela odorata</i>	27.69	<i>Coccothrinax readii</i>	32.587
	<i>Sabal yapa</i>	21.71	<i>Cedrela odorata</i>	28.802
	<i>Citrus aurantium</i>	21.28	<i>Citrus aurantium</i>	22.904
	35 Especies Restantes	185.2	35 Especies restantes	180.19
AGSV	<i>Cedrela odorata</i>	34.44	<i>Sabal yapa</i>	93.865
	<i>Sabal yapa</i>	29.29	<i>Cedrela odorata</i>	20.717
	<i>Annona squamosa</i>	27.45	<i>Cocos nucifera</i>	18.846
	27 Especies restantes	26.78	27 Especies restantes	18.349
AGSP	<i>Sabal yapa</i>	97.7	<i>Sabal yapa</i>	74.908
	<i>Citrus aurantifolia</i>	40.69	<i>Manilkara zapota</i>	43.865
	<i>Brosimum alicastrum</i>	31.04	<i>Brosimum alicastrum</i>	43.178
	8 Especies restantes	130.6	8 Especies restantes	111.67
HC	<i>Sabal yapa</i>	28.86	<i>Cocos nucifera</i>	31.099
	<i>Citrus reticulata</i>	26.58	<i>Citrus aurantifolia</i>	27.586
	<i>Citrus sinensis</i>	25.41	<i>Cedrela odorata</i>	25.153
	15 Especies restantes	219.1	15 Especies restantes	216.15

Discusión

La flora del municipio de Tzucacab ha sido clasificada por Zamora *et al.* (2009) quienes registraron 70 especies arbóreas con algún uso, en el trabajo de Röhl (2010) se reportan 64 especies arbóreas en vegetación secundaria. Y para este trabajo se reportan 40 especies arbóreas, en términos numéricos se reportan 30 y 24 especies menos en relación con los trabajos anteriores. No obstante, al ser las unidades de riego un sitio de constante manejo e intervención humana se puede pensar que tiene un alto número de especies, las cuales son diferentes con respecto los otros dos trabajos, ya que en la unidad de riego, los frutales son de suma importancia y estos son en su mayoría los que ocupan la lista.

Categorías de uso del suelo. En la unidad de riego se encontraron diferentes usos de suelo, los cuales han sido una respuesta a diversas causas y necesidades de los agricultores. Sin embargo, el abandono de 25 parcelas ha cambiado la estructura en la unidad de riego. La falta de manejo en las parcelas abandonadas ha propiciado la muerte de especies introducidas como *Citrus sinensis* y *Citrus volkameriano* (Kantun-Balam *et al.*, 2013) la apertura de claros en las parcelas ha favorecido la regeneración de la vegetación natural, esto también explica el gran número de individuos de *Sabal yapa* que junto con *Coccothrinax readii* las cuales fueron las especies con mayor frecuencia en las parcelas de uso de suelo SAMA. Estas especies han sido descritas como ampliamente distribuidas en la península de Yucatán (Caballero *et al.*, 2004).

La dispersión de *Sabal yapa* ha sido reportada como especie primaria y propia de selvas de la región, por lo que su reproducción natural es apta a las condiciones naturales de la Península de Yucatán (Gold y Caldwell, 1990, Pulido *et al.*, 2007) aunque también se ha reportado en ambientes secundarios como en los SAF's debido a que es tolerada por ser de utilidad como material de construcción (Pérez-García y Sepúlveda-Sánchez, 2011). En ese sentido Jiménez-Osornio *et al.* (2010) menciona que vegetación secundaria podría ser el punto de partida para la regeneración de las selvas en algún momento, y si las parcelas de la unidad de riego tienen semejanzas con la vegetación secundaria estas podrían ser también promotoras de la regeneración de las selvas.

El análisis de semejanza florística generó cuatro grupos y no todas las parcelas se agruparon de acuerdo a su clasificación como sistema agroforestal. El primer grupo incluyó dos parcelas AGVS el resto fueron SAMA y SAM. Las parcelas

Discussion

The flora from the municipality of Tzucacab has been classified by Zamora *et al.* (2009) who recorded 70 tree species with some use; Röhl (2010) reported 64 tree species as secondary vegetation. For this study 40 tree species are reported; in terms of numbers 30 and 24 less species are reported respectively to the previous work. However, considering that the irrigation units are fields with constant management and human intervention, it can be thought that they have a high number of species, which are different from the two other works, since in the irrigation units, fruit are paramount and these are mostly those in the list.

Land use categories. In the irrigation unit different land uses were found, which have been a response to various causes and needs to farmers. However, the abandonment of 25 plots has changed the structure in the irrigation unit. The lack of management in abandoned plots has led to the death of introduced species such as *Citrus sinensis* and *Citrus volkameriano* (Kantun-Balam *et al.*, 2013) the opening of clears in plots has favored the regeneration of natural vegetation, this also explains the large number of individuals of *Sabal yapa* which along with *Coccothrinax readii* which were the species with highest frequency in the SAMA plots. These species have been described as widely distributed in the Yucatan Peninsula (Caballero *et al.*, 2004).

The widespread of *Sabal yapa* has been reported as primary species and native from the region, so its natural reproduction is suited to the natural conditions of the Yucatan Peninsula (Gold and Caldwell, 1990, Pulido *et al.*, 2007) although it has also been reported in secondary environments as in SAF's, as it is tolerated to be useful as building material (Pérez-García and Sepúlveda-Sánchez, 2011). In this regard Jiménez-Osornio *et al.* (2010) mentions that secondary vegetation could be the starting point for the regeneration of the forests at some point, and if the plots from the irrigation unit have similarities with secondary vegetation these could also be promoters to the regeneration of the forest.

Floristic similarity analysis generated four groups and not all the plots were grouped according to their classification as agroforestry system. The first group included two AGSV plots, the rest were SAMA and SAM. The AGSV plots had as animal component the bald pig (*Sus scrofa domestica* L.) which during fieldwork were seen tied to trees and at different times of the day were rotated on the plot, so farmers

AGVS tenían como componente animal al cerdo pelón (*Sus scrofa domestica* L.) el cual durante el trabajo de campo se les vio atado a los árboles y en diferentes momentos del día fue rotado en la parcela por lo que el productores no desarrollaron infraestructura para la crianza de estos animales, por lo que las parcelas conservan su semejanza con las SAM y SAMA. El segundo grupo mantuvo una similitud florística muy estrecha y principalmente dominada por cítricos, en contraste el tercer grupo fue el más heterogéneo pues se encontraron todos los usos de suelo.

La posible razón es que todas las parcelas han pasado de ser huertas citricolas a otros SAF's por lo que aún mantienen algunas semejanzas entre sí. En el cuarto grupo resalta una parcela AGVS, su componente animal son las aves por lo que el agricultor tampoco hizo modificaciones severas a la estructura arbórea para la incorporación de los animales como en el caso de quienes tienen ovinos o cultivos anuales quienes sí derribaron árboles para favorecer el desarrollo de otras especies. Esto responde a que la parcela tenga una semejanza mayor a las SAM y se encuentre con poca similitud a las correspondientes de su manejo.

Diversidad de las parcelas de la unidad de riego. Las parcelas agrosilvícolas fueron las que menor número de géneros presentaron ya que requieren de áreas abiertas para el desarrollo de cultivos como *Carica papaya* y *Capsicum annuum* por lo que los árboles son empleados como indicadores de colindancias territoriales y no entraron dentro del área muestreada. Los SAM presentaron mayor número de individuos con respecto a las otras ya que el manejo favorece la sobrevivencia de diferentes especies, principalmente cítricos (Rico-Gray y García-Franco, 1992). Los SAM y SAMA presentan el mismo número de especies, pero no siempre son las mismas o en similar proporción, ya que el manejo que recibe cada parcela acentúa una diferencia estructural y de especies (Magdaleno *et al.*, 2005).

En los SAM la especie más frecuente fue *Citrus sinensis* con 181 individuos, seguida de *Cedrela odorata* con 47 individuos, lo que refleja una fuerte dominancia de *Citrus sinensis* sobre estos SAF's afectando así el valor de diversidad, ya que un índice toma su valor máximo cuando el sistema se encuentra en equilibrio o la cantidad de individuos por especie está mejor distribuida (Weitzman, 1992; Magurran, 2004) lo que explicaría el que las parcelas AGVS presenten un valor más alto en el índice de diversidad.

did not develop infrastructure to breed these animals, so the plots retain their resemblance to SAM and SAMA. The second group maintained a close floristic similarity, predominating citrus, unlike the third group which was the most heterogeneous, since it had all land uses.

The possible reason is that all plots have evolved from citrus orchards to SAF's, so still maintain some similarities to each other. In the fourth group highlights a AGVS plot, as its animal component are birds, so farmer did not do any severe modification to tree structure to incorporate animals as in the case of those who use ovine or annual crops who took down trees to favor the development of other species. This is the reason why there is a great similarity to SAM and small resemblance to its corresponding management.

Diversity of plots in the irrigation unit. Agroforestry plots had the lowest number of genres, as they require open areas for the development of crops such as *Carica papaya* and *Capsicum annuum*, so the trees are used as signs of boundaries and were not considered in the sampled area. SAM had higher number of individuals regarding to the rest, since management favors the survival of different species, mainly citrus (Rico-Gray and Garcia-Franco, 1992). SAM and SAMA have the same number of species, but they are not always the same or in similar proportion, as the management that each plot receives emphasizes a structural difference and of species (Magdaleno *et al.*, 2005).

In SAM the most common species was *Citrus sinensis* with 181 individuals, followed by *Cedrela odorata* with 47, reflecting a strong dominance of *Citrus sinensis* on these SAF's, thus affecting the value of diversity, as an index takes its maximum value when the system is in balance or the amount of individuals per species is better distributed (Weitzman, 1992; Magurran, 2004) which would explain why AGVS plots have a high value on diversity index.

Plot structure of the irrigation unit. The strata of the plots are four and these are influenced by management and the availability of water and nutrients. The strata receiving more intervention in pruning, fertilization and monitoring are the third and fourth, the sum of species in both layers is 25. Tree height found in the lower canopy does not exceed 6.5 m, as farmers prefer to keep them low to facilitate fruit harvest, which is recommended to do a better use of land and space (Gliessman, 2007).

Estructura de las parcelas de la unidad de riego. Los estratos de las parcelas son cuatro y estos se ven influenciados por el manejo y por la disponibilidad de agua y nutrientes. Los estratos que reciben mayor intervención en podas de formación, fertilización y monitoreo son el tercero y el cuarto, la suma de especies de ambos estratos es de 25. La altura de los árboles encontrados en los doseles inferiores no supera los 6.5 m ya que los productores prefieren mantener los árboles bajos para facilitar la cosecha de los frutos lo cual es recomendado para hacer un mejor uso del suelo y aprovechar el espacio (Gliessman, 2007).

Los resultados de los índices de IVF y IVI demuestran que *Sabal yapa* es la especie más importante y aunque es una especie de bosque primario se adapta muy bien a ambientes perturbados, debido a que ésta palma tiene cubiertas sus partes primarias con una cutícula de cera en la superficie, esta capa la protege contra varios factores ambientales como la sequía daño por UV y defensa contra insectos u hongos (Taiz y Zieger, 1991; García *et al.*, 1995) asegurando su sobrevivencia en ambientes hostiles. Las hojas maduras de esta especie son empleadas por los agricultores para el techado de diferentes tipos de infraestructura, por lo que es tolerada en las parcelas manejadas (Zona, 1990).

Caballero *et al.* (2004) reportan 16 usos para el *Sabal yapa* por lo que podría considerarse como una especie forestal no maderable de suma importancia en la estructura de la unidad de riego Tzucacab I. Otra especie importante en las parcelas es *Citrus sinensis* pues es favorecida en cuidados por los agricultores los cuales son incentivados por el gobierno para cultivarla. Los incentivos van desde donación de germoplasma, asesoría técnica y subsidio en la adquisición de infraestructura de riego (Tun *et al.*, 2011). Sin los subsidios difícilmente se podría llevar a cabo el cultivo de cítricos pues estas especies son muy susceptibles a sequías prolongadas. Es de resaltar que durante los muestreos se encontraron varios árboles de cítricos muertos en las SAMA.

En general los socios de la unidad de riego han incorporado diversos factores tecnológicos lo que incide en la estructura de las unidades de producción. Pero no basta con incorporarlos, requieren de un seguimiento y acompañamiento técnico permanente y en los diferentes aspectos en que se relacionen como nutrición de cultivos, manejo poscosecha, irrigación y organización. De esa manera se logrará tener SAF's más eficientes en el sostenimiento de la producción y con una amplia capacidad de resiliencia y así hacer un mejor uso de los recursos naturales de Yucatán.

The results of IVF and IVI indices show that *Sabal yapa* is the most important species, although it is a species from primary forest it adapts well to disturbed environments, because this palm has covered its primary parts with a cuticle wax on the surface, this layer protects against different environmental factors such as drought, damage by UV and defense against insects or fungi (Taiz and Zieger, 1991; Garcia *et al.*, 1995) ensuring its survival in hostile environments. Mature leaves from this species are used by farmers for roofing in different types of infrastructure, so it is tolerated in the managed plots (Zona, 1990).

Caballero *et al.* (2004) reported 16 uses for *Sabal yapa* which could be considered as an important non-timber forest species in the structure of the irrigation unit Tzucacab I. Another important species in the plots is *Citrus sinensis* as it is favored in cares by farmers who are encouraged by the government to grow it. The incentives range from germplasm donations, technical assistance and subsidies in the acquisition of irrigation infrastructure (Tun *et al.*, 2011). Without subsidy farmers hardly could carry out the cultivation of citrus as these species are very susceptible to prolonged droughts. It is noteworthy that during sampling several dead citrus trees were found in SAMA.

Overall the partners from the irrigation unit have incorporated many technological factors which affect the structure of production units; but it is not enough to incorporate them since they require follow-up and ongoing technical support and in different aspects that relate to crop nutrition, post-harvest handling, irrigation and organization. In this way it will achieve a more efficient SAF's in sustaining production and with wide resilience and thus make better use of natural resources from Yucatan.

Conclusions

Fruit orchards are grouped into four types of agroforestry systems, the most frequent were abandoned multipurpose agroforestry and active multipurpose agroforestry. Agroforestry systems (AGSP) recorded the highest value for diversity of species index. In the cluster analysis there was no grouping according to plot classification, grouping was given in regard to the frequency of species present in them. The species with higher IVI and IVF were *Sabal yapa* and *Citrus sinensis*.

End of the English version



Conclusiones

Las huertas frutícolas se agrupan en cuatro tipos de sistemas agroforestales, los más frecuentes fueron los sistemas agroforestales multipropósito abandonadas y sistemas agroforestales multipropósito activos. En los sistemas agrosilvopastoriles se registró el mayor valor del índice de diversidad de especies. En el análisis de conglomerados no se dio una agrupación de acuerdo a la clasificación de las parcelas, la agrupación se dio con respecto a la frecuencia de las especies presentes en ellas. Las especies que mayor IVI y IVF presentó fueron *Sabal yapa* y *Citrus sinensis*.

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de los estudios de posgrado, al ICDD por el financiamiento otorgado para las salidas al campo. A los revisores del documento por sus aportes. De igual manera a los socios de la unidad de riego Tzucacab 1 por permitir llevar a cabo el estudio.

Literatura citada

- Arellano-Rodríguez, J. A.; Flores-Guido J. S.; Tun-Garrido, J. y Cruz-Bojórquez, M. M. 2003. Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. *In: Etnoflora Yucatanense* 20. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. 815 p.
- Bautista, F. 2005. Información ecológica para el manejo de recursos naturales. *In: Bautista, F. y Palacio, G. (Eds.)* 2005. Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología- Campeche, México. 282 p.
- Bonham, Ch. D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. John Wiley and Sons. USA. 338 p.
- Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Ed. Blume. Barcelona. 820 p.
- Caballero, J.; Pulido, M. T. y Martínez-Ballesté, A. 2004. El uso de la palma de Guano (*Sabal yapa* Wright ex Becc) en la industria turística de Quintana Roo, México. *In: Alexiades, M. N. y Shanley, P. (Eds.)*. Productos forestales, medios de subsistencia y conservación. Estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. CIFOR, Desa Putera, 365-386 pp.
- Curtis, J. y McIntosh, R. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.
- Estrada-Medina, H.; Bautista, F.; Jimenez-Osornio, J. J. M.; González-Iturbide, J. A. y Aguilar, C. J. 2013. Maya and WRB soil classification in Yucatan, Mexico: differences and similarities. *ISRN Soil Science*. 1-10 pp.
- Farrell, J. G. y Altieri, M. A. 1999. Sistemas Agroforestales. *In: Altieri, M. A. Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. (Ed.). Nordan Comunidad, Montevideo. Capítulo 12:229-243.
- Gallardo, G.; Núñez, A. y Pacheco, L. F. 2010. Transectos lineales como opción para estimar abundancia de vicuñas (*Vicugna vicugna*): estudio de caso en el Parque Nacional Sajama, Bolivia. *Ecología de Bolivia*. 45(1):64-72.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México. *Offset Larios*. 217 p.
- García, S. H.; Heinzen, C.; Hubbuch, R.; Martínez, V. de X. y Moyna P. 1995. Triterpene methyl ethers from palmae epicuticular waxes. *Phytochemistry*. 39:1381-1382.
- García-Gil, G.; Castillo-Caamal, H. M. W.; Estrada-Medina, H.; Salazar-Gómez V. C.; Pérez, P. J. R.; Ortiz, J. J. y Tun, G. J. 2013. Sistema natural: geosistemas. *In: García-Gil, G. y Sosa-Escalante, J. (Eds.)*. Ordenamiento ecológico territorial: visión 2030. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. 288 p.
- Gliessman, S. R. 2007. Agroecology: the ecology of sustainable food systems. 2ª (Ed.). Boca Raton, CRC Press/Taylor & Francis. 384 p.
- Gold, W. G. and Caldwell, M. M. 1990. The effects of the spatial pattern of defoliation on regrowth of a Tussock Grass. III. Photosynthesis, canopy structure and light interception. *Oecologia* 82:12-17.
- Götz, S. and Harvey, C. A. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscape: an overview. *Biod. Conserv.* 16:2237-2244.
- Halfiter, G. 2005. Towards a culture of biodiversity conservation. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 21(2):133-153.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2012. <http://www.inegi.org.mx>.
- Jiménez-Osornio, J.; Durán-García, R.; Dupuy, R. J. M. y Gonzales-Iturbide, J. A. 2010. Gestión de recursos naturales. *In: Durán, G. R. y Méndez, G. M. (Ed.)*. 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, Conabio, Seduma. Mérida, Yucatán. 496 p.
- Kantun-Balam, J.; Salvador-Flores, J.; Tun-Garrido, J.; Navarro-Alberto, J.; Arias-Reyes, L. y Martínez-Castillo, J. 2013. Diversidad y origen geográfico del recurso vegetal en los huertos familiares de Quintana Roo. México. *Polibotánica*. 36:163-196.
- Magdaleno, M. L.; García, M. E.; Valdés-Hernández, I. J. y de la Cruz I. 2005. Evaluación del sistema agroforestal árboles en terrenos de cultivos en Vicente Guerrero, Tlaxcala, México. *Fitotec. Mex.* 28(3):203-212.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey. 179 p.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell, United Kingdom. 215 p.
- Maldonado, R. A. 2012. Evaluación de los cambios de uso del suelo y vegetación, para la conservación de recursos forestales en Tzucacab, Yucatán. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia- Universidad Autónoma de Yucatán, México. 48 p.

- Masera, O.; Astier, M. y López-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMiS. 12-15. Mundi-Prensa, México, D. F. 160 p.
- Merem, C. E.; Wesley, J.; Twumasi, A. Y.; Chandra. R. and Romorno, C. 2012. Role of agroforestry system in Southern Nigeria. *British J. Environ. Climate Change*. 2(3):288-317.
- Montagnini, F. and Nair, P. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry system. *Montagnini, F. and Nair, P. Agroforestry Systems*. 61:281-295.
- Nair, P. K. R. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers. 499 p.
- Pennington, T. D. y Sarukhán, J. 1998. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 2ª. (Ed.). Universidad Nacional Autónoma de México Fondo de Cultura Económica, México. 521 p.
- Peña-Chocarro, P. and Knapp, S. 2011. Árboles del Mundo Maya. Natural History Museum, Pronatura Península de Yucatán, Universidad Autónoma de Yucatán, Fundación ProPetén, Universidad del Valle de Guatemala. 263 p.
- Pérez-García, M. y Sepúlveda-Shánchez, D. J. 2011. Micromorfología de ceras epicuticulares en hojas maduras de *Sabal yapa* Wri ght Ex Becc. (Arecaceae). *Polibotánica*. 32:153-161.
- Pulido, T. M.; Valverde, T. and Caballero, J. 2007. Variation in the population dynamics of the palm *Sabal yapa* in the landscape shaped by shipting cultivation in the Yucatán Peninsula, México. *J. Trop. Ecol.* 23:139-149.
- Quero, H. 1992. Las palmas silvestres de la Península de Yucatán. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 63 p.
- Rao, M. R.; Nair, P. K. R. and Ong, C. K. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agrof. Systems*. 38:3-50.
- Rice, R. A. and Greenberg R. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*. 29:167-173.
- Rico-Gray, V.; García-Franco, J. G.; Puch, J. G. A. and Simá, P. 1990. Species composition, similarity and structure of maya homegarden in Tixpehual and Tixcaltuyub, Yucatán, México. *Econ. Bot.* 4- 44 pp.
- Röll, A. 2010. Forest characteristics, aboveground tree carbon stocks and annual increment of secondary forests in the tropics. Tesis de Maestría. Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Georg-August-University of Göttingen, Germany. 213 p.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*. 163:688.
- Somarriba, E. 1990. Qué es la agroforestería? *In: El Chasqui*. 24:5-13.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. Surface protection and secondary defense compounds. *In: Plant Physiology*. Benjamin/Cummings Redwood City, California, USA. 90-93 pp.
- Tun, D. C. J.; Ramírez, J. G.; Sánchez, C. I.; Lomas, B. T. C. y Cano, G. J. A. 2011. Diagnóstico y evaluación de sistema de riego en El Distrito 048 Ticul, Yucatán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 5-18.
- Villanueva, M. E. 1994. La formación de las regiones de Yucatán. *In: sociedad, estructura agraria y estado de Yucatán*. Baños, R. O. (Ed.). Mérida, Yucatán: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. 167-203 pp.
- Weitzman, M. L. 1992. On diversity. *The quarterly. J. Econ.* 107(2):363-405.
- Zamora, C. P. 2009. Flora útil y su manejo en el cono Sur del estado de Yucatán, México. *Polibotánica*. 28:227-250.
- Zona, S. 1990. A Mmograph of Sabal (Arecaceae: Coryphoideae). *Aliso* 12(4):583-666.