



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y MACROFAUNA EDÁFICA EN PLANTACIONES
AGROFORESTALES DE CACAO EN CÁRDENAS, TABASCO

AURORA RAMÍREZ MENESES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS TABASCO, MÉXICO

2009

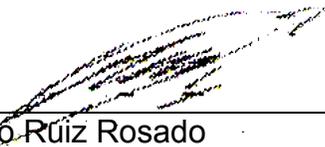
La presente tesis titulada: **Diversidad florística y macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco**, realizada por la alumna: **Aurora Ramírez Meneses**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

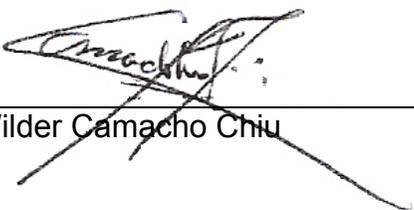
MAESTRÍA EN CIENCIAS
PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dra. Eustolia García López

ASESOR: 
Dr. José Jesús Obrador Olán

ASESOR: 
Dr. Octavio Ruiz Rosado

ASESOR: 
Dr. Wilder Camacho Chiu

H. Cárdenas Tabasco, México, 10 de diciembre de 2009

DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y MACROFAUNA EDÁFICA EN PLANTACIONES
AGROFORESTALES DE CACAO EN CÁRDENAS, TABASCO

Aurora Ramírez Meneses, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2009

El presente trabajo se compararon, parcelas de 30 y 50 años de edad, de dos componentes de la biodiversidad en plantaciones agroforestales de cacao en el Ejido Miguel Hidalgo 2da sección, municipio de Cárdenas, Tabasco, México. Los resultados indican que las plantas de la familia Leguminosae con 52% (262 Individuos) para las de 30 años y 19 % (237 individuos) para las de 50 son las más frecuentes. Las parcelas de 50 años son más diversas respecto a las de 30 años. Las parcelas de ambas edades presentaron similitud a nivel de familia, observándose una tendencia a la disimilitud desde a nivel de género, que es más marcado a nivel de especie. En las parcelas de 30 años se observó una mayor área basal en comparación con las parcelas de 50 años, debido principalmente a la presencia de *Samanea saman* que alcanzar un área basal promedio de $7.98\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$. Las principales combinaciones de usos observados en las parcelas de estudio son: combustible “leña”, postes para cercos vivos, horcones para la construcción de casas y elaboración de mangos para herramientas para las plantaciones de 30 años y de frutales para las de 50 años. Existe mayor diversidad de usos en las parcelas de 50 años con respecto a las de 30 años. En cuanto a la macrofauna edáfica se obtuvo que un total de 299 Ind.m² contabilizados para las parcelas de 30 años y 628 Ind.m² para las parcelas de 50 años. Se identificaron un total de 8 clases 13 órdenes para las parcelas de 30 años y 7 clases y 11 órdenes para las parcela de 30 años. Las parcelas de mayor edad presentaron mayor diversidad determinado a partir de índice de diversidad de Shannon respecto a las parcelas de menor edad durante la época de norte. Aspecto que no sucedió en las temporadas de seca donde la mayor diversidad se presento en las parcelas de 30 años y finalmente en la época de lluvia no se presentaron diferencia estadística significativa. Se identificaron un total de nueve grupos funcionales para las parcelas de 30 años y ocho para las de 50.

Palabra clave: Diversidad florística, Macrofauna edáfica, Sistema Agroforestal.

DIVERSITY OF FLORA AND SOIL MACROFAUNA IN AGROFORESTRY
PLANTATIONS OF COCOA CARDENAS, TABASCO, MEXICO

Aurora Ramírez Meneses, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2009

The present study compared plots of 30 and 50 years of age, two components of agro-biodiversity in cocoa plantations in the 2nd section Ejido Miguel Hidalgo in the municipality of Cardenas, Tabasco, Mexico. The results indicate that families of Leguminosae family plants with 52% (262 individuals) for 30 years and 19% (237 individuals) for the 50 most frequently. The plots of 50 years are more diverse compared to those of 30 years. The plots of both ages showed similarity at the family level, showing a tendency towards dissimilarity from the genus level, which is more marked at the species level. In plots of 30 years there was a higher basal area compared to the plots of 50 years, mainly due to the presence of *Samanea saman* to achieve a basal area averaged 7.98m².ha⁻¹. The main combinations of practices observed in fields of study are: fuel "wood" living fence posts, props for building houses and making handles for tools to plant fruit trees and 30 years for 50 years. There is greater diversity of uses for parcels over 50 years to 30 years. As for the soil macrofauna was found that a total of 299 Ind.m² accounted for 30 plots and 628 plots Ind.m² for 50 years. We identified a total of 8 classes 13 orders for parcels of 30 and 7 classes and 11 orders for the plot 30 years. The oldest plots showed greater diversity determined from Shannon diversity index on younger plots during the rainy north. Appearance did not happen in the dry season where the highest diversity plots are presented in 30 years and finally in the rainy season there were no statistically significant difference. We identified a total of nine functional groups for parcels of 30 and eight for 50.

Key word: Floristic diversity, soil macrofauna, agroforestry systems.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser el centro de mi vida, el que me ha dado la oportunidad de ser, estar y sobre todo de existir, gracias por permitirme dar, amar y crecer.

Al pueblo de México que a través del CONACYT me otorgó el apoyo económico durante la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco por haberme permitido realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en producción Agroalimentaria en el Trópico.

A la Dra. Eustolia García López, por su amistad, confianza y apoyo, por sus sugerencias, comentarios y ayuda en campo durante la realización de mi trabajo de tesis.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por su amistad, su apoyo incondicional, sus consejos y confianza durante la realización de mi investigación.

Al Dr. Octavio Ruiz Rosado por su amistad y cariño, por sus sugerencias e inquietudes y sobre todo por tener confianza en mi durante la realización de mi trabajo de tesis.

Al Dr. Wilder Camacho Chiu por motivarme en los momentos más difíciles de la maestría y por ser partícipe de esta investigación.

Al Dr. Saúl Sánchez Soto por su colaboración para la identificación de la macrofauna edáfica.

Al M.C. Jesús Antonio Tamayo Alcalá por su amistad, apoyo y confianza durante el poco tiempo de conocerlo. Gracias.

Al M.C. Francisco Meléndez Nava por su amistad, motivación y enseñanza, por haber sido quien me enseñó a dar mis primeros pasos hacia la investigación.

Al M.C. Vinicio Calderón Bolaina por su amistad, cariño, apoyo, por su tiempo y ayuda incondicional en la realización de mi investigación.

A mis amigas Vianey y Yolanda gracias por su cariño y respeto, por estar siempre conmigo en cualquier momento de mi vida, por las cosas que he aprendido de ustedes y porque han hecho que vida sea aún más feliz al tener su amistad.

A mis compañeros de la generación 2007-2008: Yolanda, Vianey, Germán, Juan Salvador, Pedro, Carlos, Ernesto, Carlos Augusto, Lupita, Georgina, Antonio, Lorena, Claudia, Alberto y Francisco. Gracias por los momentos vividos y compartidos con todos ustedes.

A mis amigos y compañeros de estudio: Vinicio, Benigno, Wagner, Nelson y Juan por brindarme su amistad, por los momentos compartidos, por haberlos encontrado en mi camino y por ser, sin duda alguna, parte fundamental en mi vida.

A los señores: Venancio, Saulo, Vidal, Víctor y Asunción por haberme permitido realizar mi investigación en sus parcelas y por todas las facilidades otorgadas, gracias.

A los profesores de maestría del PROPAT por ser parte de mi formación profesional.

A los prestadores de servicio social y residencia: Antonio, José Miguel, Jorge, Carlos Alfredo, Pedro, Isaías, Alfredo, Carlos y Eugenio. A Leisy, Maritza y Jade. A Wilio, Francisco, Candelario, Laura y Eliseo, muchísimas gracias por el apoyo otorgado en campo durante la realización de mi trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A mis padres

Dora del Carmen Meneses Peregrino y Jorán Ramírez Ramírez, por ser los mejores padres que Dios me pudo haber dado, por sus enseñanzas, valores, amor y confianza, por ser ustedes el motivo más importante de mi realización y por el respeto hacia mi vida, mis sueños y mis metas, los amo.

A mis hermanos

Javier, Ruth, Oscar, Esther, Inés, Alexander, Magali, Josefa del Carmen y Jorán Gabriel mil gracias a cada uno de ustedes por las enseñanzas que me dan día a día, porque siempre están pendientes de mí, por hacerme sentir bien, por su apoyo moral y económico en todo momento, por su paciencia y también por la confianza que han depositado en mí, Gracias.

A mis sobrinos

Javier de Jesús, Juan Diego y Ana Isabel; Luis Ángel, José Carlos, Ariana del Carmen y Dariana Guadalupe; Vianey de Jesús; Oscar Jorán; Yemeli Jasmín y Jhoselyn Michell porque han llenado mi vida de alegría, felicidad y porque me han enseñado la magnitud del amor. Gracias los amo.

A mis abuelos paternos

Clemente Ramírez Martínez (†) y Guadalupe Ramírez Javier (†) por que cuando los tuve me enseñaron el respeto, el cariño y amor a mis padres.

A mis abuelos maternos

Anatolio Meneses (†) y Audelina Peregrino por todo lo que me han dado y enseñado, por enseñarme a ver la vida con coraje, dedicación y sobre todo con tolerancia, gracias.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS | 4 |
| 1.2.1. Objetivo general..... | 4 |
| 1.2.1.1. Objetivos específicos | 4 |
| 1.2.2. Hipótesis | 4 |
| 1.3. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 1.3.1. El sistema agroforestal cacao..... | 4 |
| 1.3.1.1. Estudios florísticos realizados en el sistema agroforestal cacao en Tabasco | 5 |
| 1.3.1.2. Antecedentes de estudios de Macrofauna edáfica en Tabasco | 9 |
| 1.3.2. Medidas de diversidad usadas en estudios realizados en el estado de Tabasco | 13 |
| 1.4. LITERATURA CITADA | 17 |
| CAPITULO II. DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE CACAO EN CÁRDENAS, TABASCO..... | 21 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN | 24 |
| 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 25 |
| 2.2.1. Área de estudio..... | 25 |
| 2.2.2. Diseño de muestreo..... | 26 |
| 2.2.3. Variables medidas en las parcelas | 26 |
| 2.2.4. Análisis de la composición florística, diversidad y estructura de los sistemas agroforestales de cacao de treinta y cincuenta años | 27 |
| 2.2.4.1. Composición..... | 27 |
| 2.2.4.2. Índice de Diversidad y similitud | 27 |
| 2.2.4.3. Análisis Estructural..... | 29 |
| 2.2.4.4. Análisis de los usos de las especies arbóreas..... | 31 |
| 2.3. RESULTADOS..... | 31 |
| 2.3.1. Composición florística..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 2.3.2. Riqueza de especies en parcelas de 30 y 50 años de edad asociadas al sistema agroforestal cacao, en Tabasco, México..... | 33 |
| 2.3.3. Análisis de similitud entre parcelas del sistema agroforestal cacao de dos edades diferentes en Tabasco, México | 34 |
| 2.3.4. Análisis de la estructura..... | 34 |
| 2.3.5. Usos comunes de la comunidad vegetal arbórea en cacaotales de 30 y 50 años | 40 |
| 2.4. DISCUSIÓN | 44 |
| 2.4.1. Composición | 44 |
| 2.4.2. Diversidad, uniformidad y similitud | 45 |
| 2.4.3. Estructura | 47 |
| 2.4.4. Usos..... | 47 |
| 2.5. CONCLUSIONES | 48 |
| 2.6. BIBLIOGRAFÍA..... | 49 |
| CAPITULO III. LA MACROFAUNA EDÁFICA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO, EN TABASCO, MÉXICO | 52 |
| 3.1. INTRODUCCIÓN | 55 |
| 3.2. MATERIALES Y METODOS..... | 57 |
| 3.2.1. Área de estudio..... | 57 |
| 3.2.2. Clima, geomorfología y suelo del área de estudio | 57 |
| 3.2.3. Diseño de muestreo..... | 59 |
| 3.2.3.1. Muestreo de la macrofauna edáfica | 59 |
| 3.2.4. Composición y funciones ecológicas de la macrofauna edáfica | 60 |
| 3.2.4.1. Composición..... | 60 |
| 3.2.5. Análisis de diversidad, uniformidad y similitud en las plantaciones de cacao de parcelas de treinta y cincuenta años..... | 60 |
| 3.2.5.1. Índices de diversidad de Shannon-Wiener (H')..... | 60 |
| 3.2.5.2. Índices de Uniformidad y de similitud..... | 62 |
| 3.2.6. Funciones ecológicas | 63 |
| 3.3. RESULTADOS..... | 64 |
| 3.3.1. Composición de la macrofauna edáfica | 64 |

| | |
|--|----|
| 3.3.2. Riqueza de clases y órdenes de macrofauna determinados por época del año en plantaciones de 30 y 50 años bajo el sistema agroforestal cacao, en Tabasco, México. | 65 |
| 3.3.2.1. Época de norte..... | 65 |
| 3.3.2.2. Época de seca..... | 67 |
| 3.3.2.3. Época de lluvia..... | 69 |
| 3.3.2. Funciones ecológicas de la macrofauna edáfica..... | 71 |
| 3.3.3. Análisis de la diversidad de Funciones ecológicas para la macrofauna edáfica. | 73 |
| 3.4. DISCUSIÓN | 75 |
| 3.4.1. Composición | 75 |
| 3.5. CONCLUSIONES | 76 |
| 3.6. BIBLIOGRAFÍA..... | 76 |
| CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES..... | 79 |
| 4.1. CONCLUSIONES GENERALES | 80 |

LISTA DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| Cuadro 1.1. Trabajos realizados en el sistema agroforestal cacao, enfocados al estudio de la diversidad biológica en el estado de Tabasco. | 16 |
| Cuadro 2.1. Medidas de similaridad realizadas en el estudio..... | 29 |
| Cuadro 2.2. Análisis de la diversidad de especies por edad 30 y 50 años en plantaciones agroforestales de cacao | 34 |
| Cuadro 2.3. Medidas de similitud por edad 30 y 50 años en plantaciones agroforestales de cacao | 34 |
| Cuadro 2.4. Atributos estructurales de la vegetación en parcelas de una hectárea en plantaciones agroforestales de cacao de 30 años de edad..... | 34 |
| Cuadro 2.5. Atributos estructurales de la vegetación en las plantaciones de 50 años en 10000m ² en plantaciones agroforestales de cacao. | 37 |
| Cuadro 2.6. Lista de usos la vegetación arbórea coexistente en la parcelas de estudio | 41 |
| Cuadro 2.7. Análisis de la diversidad de usos de especies arbóreas por edad 30 y 50 años en plantaciones agroforestales de cacao, para este análisis solo se considero a árboles con un $Dap_{1.30m} > 7.5$ cm. | 43 |
| Cuadro 2.8. Usos de la vegetación arbórea é índice de valor de importancia en las plantaciones de 30y 50 años plantaciones agroforestales de cacao. | 44 |
| Cuadro 3.1.Época y fechas de muestreo de la macrofauna edáfica. | 59 |
| Cuadro 3.2. Medidas de similaridad realizadas en el estudio..... | 62 |
| Cuadro 3.3. Análisis de diversidad de la macrofauna edáfica a nivel de clase y orden en plantaciones agroforestales de cacao obtenidos en la época de norte..... | 65 |
| Cuadro 3.4. Índices de similitud aplicados a la diversidad de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao obtenido en la época de norte..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 3.5. Análisis de diversidad de la macrofauna edáfica a nivel de clase y orden en plantaciones agroforestales de cacao obtenidos en la época de seca..... | 68 |
| Cuadro 3.6. Índices de similitud aplicados a la diversidad de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao obtenido en la época de seca | 68 |
| Cuadro 3.7. Análisis de diversidad de la macrofauna edáfica a nivel de clase y orden en plantaciones agroforestales de cacao obtenidos en la época de lluvia..... | 70 |
| Cuadro 3.8. Índices de similitud aplicados a la diversidad de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao obtenido en la época de | 70 |
| Cuadro 3.9. Funciones ecológica de la macrofauna edáfica colectada en el agroecosistemas cacao de parcelas con edad de 30 años durante el periodo de estudio. | 72 |
| Cuadro 3.10. Funciones ecológica de la macrofauna edáfica colectada en el agroecosistemas cacao de parcelas con edad de 50 años durante el periodo de estudio. | 73 |
| Cuadro 3.11. Análisis de la diversidad de funciones ecológicas de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en parcelas con edad de 30 y 50 años..... | 74 |
| Cuadro 3.12. Medidas de similitud de la diversidad de funciones ecológicas en plantaciones agroforestales de cacao en parcelas con edad de 30 y 50 años. | 74 |

LISTAS DE FIGURA

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1.1. Tasa de cambio de bosque primario por continente (FAO 2005)..... | 2 |
| Figura 1.2. Superficie y rendimiento de cacao en los estados del sur de México (elaboración propia a partir de información de SIAP 2009)..... | 5 |
| Figura 1.3. Abundancia de árboles de sombra (Elaboración propia a partir de la información de García 1983). | 6 |
| Figura 1.4. Usos más comunes de árboles del sistema agroforestal cacao. Elaboración propia a partir de la información de García 1983). | 6 |
| Figura 1.5. Abundancia de árboles de sombra. Elaboración propia a partir de la información de Ramos 2001)..... | 7 |
| Figura 1.6. Usos más comunes de árboles de sombra. Elaboración propia a partir de la información de Ramos 2001)..... | 7 |
| Figura 1.7. Número de especies y categorías reportadas de lombrices de tierra en cacaotales para el estado de Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Huerta <i>et al.</i> 2005). | 11 |
| Figura 1.8. Número promedio de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo-árbol de cacao-Moté, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982)..... | 12 |
| Figura 1.9 Porcentaje de presencia de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo-árbol de Cacao-Moté, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982)..... | 12 |
| Figura 1.10. Número promedio de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo, 1m-cacao, 2m-cacao, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982)..... | 13 |
| Figura 1.11. Porcentaje de presencia de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo-cacao 1 m-cacao 2 m, en el | |

| | |
|--|----|
| Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982)..... | 13 |
| Figura 1.12 Métodos de evaluación de la diversidad más utilizados en el sistema agroforestal cacao en Tabasco. | 15 |
| Figura 2.1. Ubicación geográfica de las parcelas de estudio en el Ejido Miguel Hidalgo 2da. Sección. | 26 |
| Figura 2.2. a) Familias que presentaron el mayor número de individuos registradas en las parcelas de 30 años y (b) 50 años de edad. | 32 |
| Figura 2.3. a) Géneros con mayor número de individuos registrados en las parcelas de cacao de (a) 30 años y (b) 50 años de edad. | 32 |
| Figura 2.4. a) Especies con mayor número de individuos registradas en las parcelas de cacao de (a) 30 años y (b) 50 años de edad. | 33 |
| Figura 2.5. Histograma de clases diamétricas de especies estructuralmente importantes de parcelas de 30 años que se ajustan a los patrones poblaciones tipo 1 (b,) y tipo 2 (c y d)..... | 37 |
| Figura 2.6. Histograma de clases diamétricas de especies estructuralmente importantes de parcelas de 30 años que se ajustan a los patrones poblaciones tipo 1 (c) y tipo 2 (a, b, d, e y f)..... | 39 |
| Figura 2.7. Alturas de los individuos mayores a $D_{ap} > 7.5$ cm, para las parcelas de 30 y 50 años..... | 40 |
| Figura 2.8. Análisis multidimensional de usos comunes de la comunidad vegetal arbórea que integra las parcelas de 30 años..... | 42 |
| Figura 2.9. Análisis multidimensional de usos comunes de la comunidad vegetal arbórea que integra a parcela de 50 años. | 42 |
| Figura 3.1. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio | 57 |
| Figura 3.2. Normales de precipitación (mm) y evaporación (mm) para la zona de estudio según datos de la estación meteorológica (00027051) Tulipán, municipio de Cunduacán, Tabasco. Tomado de (www.Smn.cna.gob.mx.). Elaboración autor. | 58 |
| Figura 3.3. Diseño de cubos metálicos utilizados para la extracción de la macrofauna edáfica | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.4. Clases con mayor número de individuos registrados en las parcelas de 30 (a) y 50 años (b)..... | 64 |
| Figura 3.5. Ordenes y numero de ind.m ² registrados en las parcelas de 30 años (a) y (b) para las de 50 años..... | 65 |
| Figura 3.6. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de norte para las parcelas de 30 años (valores medios)..... | 67 |
| Figura 3.7. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de norte para las parcelas de 50 años (valores medios)..... | 67 |
| Figura 3.8. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de seca para las parcelas de 30 años (valores medios). | 69 |
| Figura 3.9. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de seca para las parcelas de 50 años (valores medios). | 69 |
| Figura 3.10. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de lluvia para las parcelas de 30 años (valores medios)..... | 71 |
| Figura 3.11. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de lluvia para las parcelas de 30 años (valores medios)..... | 71 |

ABREVIATURAS

| | |
|---------------------------------|---|
| km ² | kilómetro cuadrado |
| FAO | La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| ICRAF | Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería |
| NOM-059-SEM | Norma Oficial Mexicana Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestre categorías de riesgos y especificaciones para su inclusión, exclusión, o cambio- lista de especies en riesgo. |
| SEMARNAT | Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística y Geografía |
| Pg | Petagramo |
| C | Carbono |
| CONAFOR | Comisión Nacional Forestal |
| SIAP | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera |
| Cm | Centímetros |
| (tes t $p < 0.01$) | Probabilidad de t al 99% de confianza |
| (tes t $p < 0.05$) | Probabilidad de t al 95% de confianza |
| CESVETAB | Sanidad Vegetal Tabasco |
| TSBF | Tropical Soil Biology and Fertility |
| M | Metros |
| Sp | Especies |
| Temp | Temperatura |
| °C | Grados Celsius |
| pp | Precipitación |
| m ² ha ⁻¹ | Metros cuadrados por hectárea |
| m ² | Metros cuadrados |
| H' | Índice de diversidad de Shannon |
| pi | Abundancia proporcional de la i -ésima especie |
| ln pi | Logaritmo natural de la abundancia proporcional de la i -ésima especie |
| Σ | Sumatoria |
| Var H ₁ | Varianza de una población |
| Df | Grados de libertad |
| VIR | Índice de Valor de Importancia |
| ABR | Área Basal Relativa |
| FR | Frecuencia Relativa |
| DR | Densidad Relativa de especies |
| E | Índice de Uniformidad de Shannon |
| lnS | Logaritmo Natural de la especie |
| S | Especie |
| CJ | Medidas de similitud de Jaccard |
| Σ ABt | Sumatoria del Área Basal Relativa |
| AB | Área Basal |

Dap 1.30m
Ind.
Ind.m²

Diámetro a la altura de pecho
Individuos
Individuos por metro cuadrado

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La Agroforestería, es un concepto que involucra la incorporación de árboles en los sistemas de cultivo agrícola, o viceversa (Nair 1993) y juega un papel fundamental en la satisfacción de las necesidades del ser humano, tanto las relacionadas con su alimentación, como aquéllas involucradas con la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono y la conservación del suelo y el agua (Barton 2004). Los sistemas agroforestales tienen un potencial alto para producir frutas, verduras, aceites, madera, leña, plantas ornamentales, medicinales y forrajeras de alto valor comercial, así como la crianza de aves y otros animales de talla pequeña, además de su producción principal (ICRAF 2009).

A nivel mundial, los principales países que han tomado medidas de conservación de la vegetación y su reforestación son China y Estados Unidos; en lo que respecta a los países de las zonas tropicales, éstos pierden su biodiversidad a un ritmo superior a la media mundial, que ha sido calculada en -0.2%, México es uno de los que tienen las tasas más altas de pérdida de biodiversidad y, no obstante las medidas tomadas por el ejecutivo, el ritmo con el que se conserva y reforesta es mucho menor que la tasa de pérdida anual de las principales comunidades vegetales primarias, que ha sido calculada en -0.4% (Figura 1.1) (FAO 2005). A nivel nacional los cambios en la biodiversidad han sido notables, se ha estimado que alrededor de 2,082,573 km² de la superficie del país corresponde a vegetación primaria, en tanto que 862,605 km² son ocupados por vegetación secundaria, lo que representa que el 29% de la superficie nacional sufre algún tipo de perturbación (INEGI 2006). En 2002, a nivel nacional, se estimó que las especies en riesgo sumaban 2,059, 45% de las cuales correspondían al grupo taxonómico de plantas (NOM-059 2002).

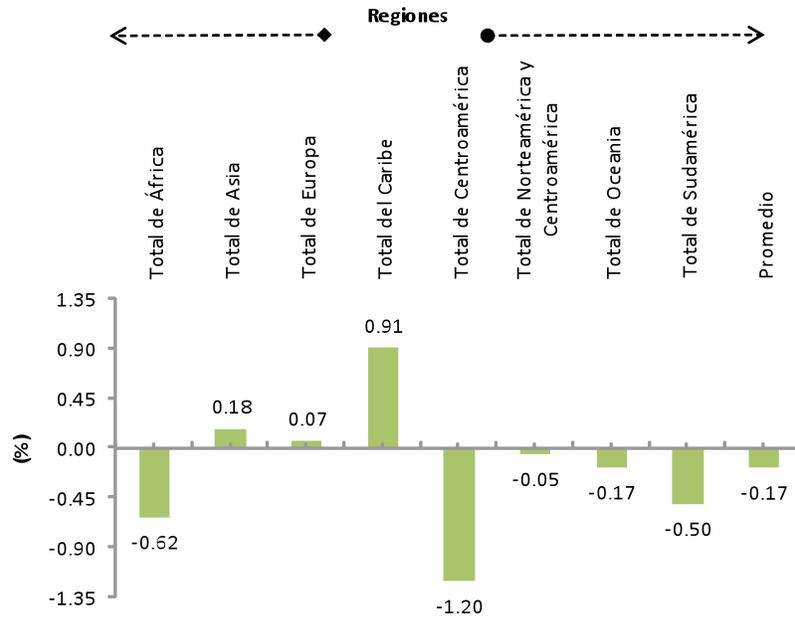


Figura 1.1. Tasa de cambio de bosque primario por continente (FAO 2005).

En México las principales causas de la deforestación han sido la conversión de bosques a tierras de cultivo, la cría incontrolada de ganado, la extracción selectiva de madera, los asentamientos humanos, el cambio de uso de la tierra, quemas, infraestructura carretera y petrolera, algunas de las cuales a menudo han causado la degradación y la pérdida de los ecosistemas (De Jong *et al.* 2000; Sarukhán *et al.* 2009); esa misma problemática se ha visto reflejada en los sistemas agroforestales de cacao en el estado de Tabasco (Ramos 2001) en donde una de las causas de mayor impacto en la producción ha sido la enfermedad conocida como moniliasis, que es producida por el hongo *Moniliophthora roreri*, la cual ha disminuido sustancialmente la producción de cacao en los últimos años; las pérdidas se han estimado hasta en un 80% (Phillips *et al.* 2007) sumándose a ello los bajos precios y la edad avanzada de las plantaciones (Córdova *et al.* 2001). A pesar de ello, los sistemas agroforestales de cacao permanecen como los de mayor importancia en el estado, ya que constituyen además sitios de conservación para las aves residentes y migratorias, cuentan con una alta diversidad florística y desempeñan un importante papel en la protección y conservación de la biodiversidad (Greenberg *et al.* 2000); así mismo, Herve y Vidal (2007) señalan

que estos sistemas agroforestales presentan un ambiente propicio para la conservación de varias especies de fauna como aves, insectos benéficos y mamíferos (Salgado *et al.* 2007).

Los bosques primarios tienen un alto potencial para mejorar los procesos biogeoquímicos del suelo, se ha calculado que alrededor de 0.4 Pg C año⁻¹ es fijado por los suelos forestales y de 1 a 3 Pg C año⁻¹ es capturado por la biomasa forestal (Lal 2005), siendo una de las mejores opciones para satisfacer algunas necesidades económicas, sociales y medio ambientales (Herve y Vidal 2007).

La pérdida de bosques primarios y el incremento del desarrollo de actividades antropogénicas (Bowersa y Boutinb 2008) parecen indicar que el futuro de estos sistemas agroforestales es prometedor si se considera su contribución a la producción de recursos y la conservación de la biodiversidad (Wiersum 2004); sin embargo, las plantaciones de cacao no deben concebirse como un pasado tradicional, más bien al contrario, deben ser promovidas activamente en las comunidades rurales del estado de Tabasco ya que, por su composición, estructura y diversidad son zonas importantes de conservación de vegetación (Greenberg *et al.* 2000; Kumar y Nair 2004).

Los sistemas de producción de cacao constituyen también zonas de amortiguamiento de áreas naturales (riberas de los ríos) (Salgado *et al.* 2007). Además, el estudio de este sistema agroforestal ofrece oportunidades para el desarrollo de nuevos conceptos clave para la investigación agroforestal y plantea grandes desafíos en el desarrollo de modelos genéricos y de principios de gestión de germoplasma (Nair 1993; ICRAF 2009); para ello, es necesaria la acción colectiva de los productores, con el apoyo nacional de instituciones y políticas de gobierno, centros de investigación que se encarguen de proporcionar a los agricultores el conocimiento necesario para mantener y gestionar la conservación de las especies vegetales y/o animales vulnerables o en peligro de extinción (Méndez *et al.* 2007; Rosa y Haridasa 2007), tal como actualmente lo intenta

promover el Gobierno Federal a través del Programa Nacional de Desarrollo Forestal, creando una normativa para la gestión de las Unidades de Manejo Forestal (CONAFOR 2001), cuyo mantenimiento dependerá de la selección de especies arbóreas que los agricultores realicen, así como la determinación de sus densidades. Partiendo de la importancia de la diversidad y la conservación de especies en los sistemas agroforestales de cacao, el presente trabajo tuvo como finalidad analizar la biodiversidad de dos de sus principales componentes: la flora y la macrofauna del suelo.

1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.2.1. Objetivo general

Analizar y comparar, en parcelas de 30 y 50 años de edad, dos componentes de la biodiversidad en el sistema agroforestal cacao en el Ejido Miguel Hidalgo 2da sección, municipio de Cárdenas, Tabasco.

1.2.1.1. Objetivos específicos

- a) Comparar la composición florística, estructura, riqueza y diversidad de especies arbóreas en parcelas de dos edades bajo el sistema agroforestal cacao.
- b) Comparar la composición, riqueza y diversidad de la macrofauna edáfica en parcelas de dos edades bajo el sistema agroforestal cacao.

1.2.2. Hipótesis

- a) Las parcelas en estudio difieren en cuanto a composición, estructura, riqueza y diversidad de especies arbóreas en función de su estado de madurez.
- b) Las plantaciones de cacao de más edad poseen mayor diversidad edáfica.

1.3. REVISIÓN DE LITERATURA

1.3.1. El sistema agroforestal cacao.

La práctica de producción de cacao se ha realizado desde la época prehispánica, cultura heredada de los Mayas y Chontales (Córdova 2001) y ha permanecido

hasta nuestros días. Gran parte del acervo cultural del estado de Tabasco está relacionado con el cacao y la actividad que los mayas realizaban hace unos 1,500 años (Motamayor *et al.* 2002). En la actualidad, como sistema productivo enfrenta enormes desafíos que podrían ser resumidos en dos diferentes dimensiones: 1. en el ámbito social y económico destacan los bajos precios y créditos insuficientes, poca capacitación y especialización comprometida (Cordova 2001; SIAP 2009). 2. Desde el punto de vista ambiental, el cambio de uso de suelo no parece ser un factor determinante, de acuerdo con la información del SIAP en el periodo comprendido entre 2004 y 2009 (Figura 1.2), no obstante, los rendimientos han sido variables y no se tiene claridad sobre la amenaza de *Moniliophthora roreri*, dada a conocer en Tabasco por Phillips *et al.* (2007); sin embargo, es posible constatar los impactos en plantaciones ubicadas en Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán y Comalcalco (CESVETAB 2009), así como una reducción en la superficie estatal observada del año 2004 al 2005, la cual equivale a 32% y que podría o no estar asociada a la presencia de *Monilia*.

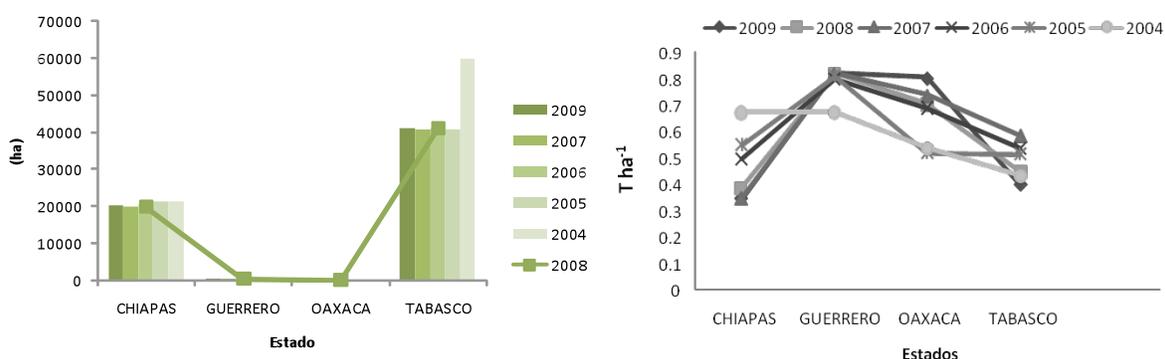


Figura 1.2. Superficie y rendimiento de cacao en los estados del sur de México (elaboración propia a partir de información de SIAP 2009).

1.3.1.1. Estudios florísticos realizados en el sistema agroforestal cacao en Tabasco

La biodiversidad florística ha sido descrita en diferentes estudios realizados en fincas de cacao del estado de Tabasco, incluyendo listados de la composición florística de árboles de sombra, así como los principales usos y características de cada especie; en las (Figuras 1.3) y (Figura 1.4), se presenta la información obtenida en fincas de cacao ubicadas en el municipio de Comalcalco, Tabasco,

donde se observa que las especies predominantes son el chipilc6 (*Diphysa robinoides* Benht.), coco6te (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) y la madre de cacao (*Erythrina* sp), las cuales, representan al 80% de los 6rboles en un total de 72 predios evaluados, as6 mismo, las caracter6sticas determinadas por los productores en la selecci6n de sus 6rboles de sombra est6n determinadas por su f6cil manejo, producci6n de madera, le6a y frutos comestibles (Garc6a 1983).

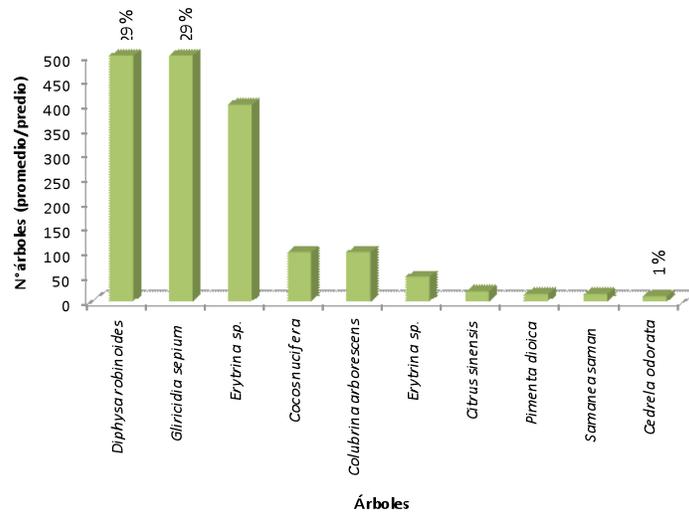


Figura 1.3. Abundancia de 6rboles de sombra (Elaboraci6n propia a partir de la informaci6n de Garc6a 1983).

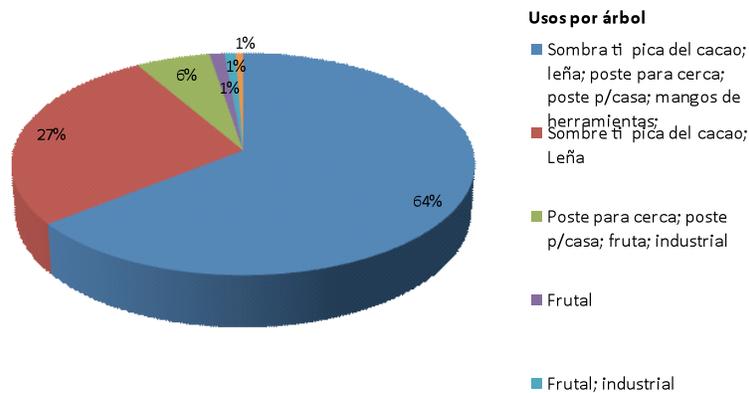


Figura 1.4. Usos m6s comunes de 6rboles del sistema agroforestal cacao. Elaboraci6n propia a partir de la informaci6n de Garc6a 1983).

En la (Figura1.5) y (Figura 1.6), se presentan los resultados de Ramos (2001) en cuanto a numero total de individuos sin considerar las diferentes edades de

árboles de sombra del sistema agroforestal cacao, en cuanto a las especies mas sobresalientes, coincide con los datos reportados por García (1983).

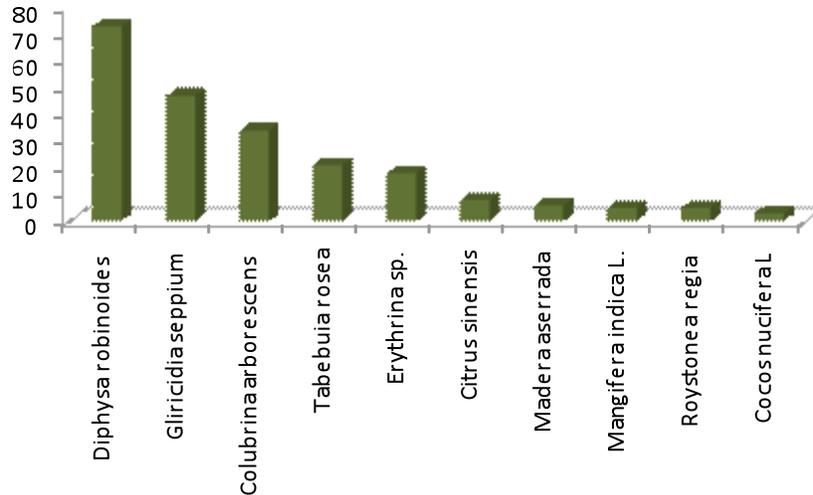


Figura 1.5. Abundancia de árboles de sombra. Elaboración propia a partir de la información de Ramos 2001).

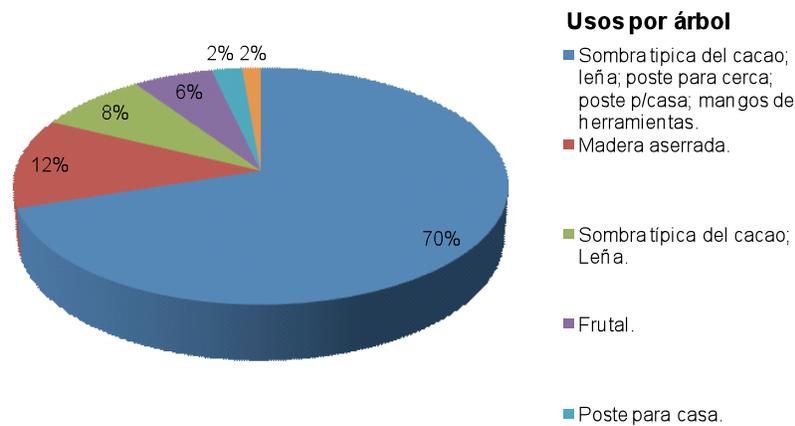


Figura 1.6. Usos más comunes de árboles de sombra. Elaboración propia a partir de la información de Ramos 2001).

La participación de la cubierta vegetal del sistema agroforestal cacao ha sido estudiada en relación con su posible impacto en las propiedades del suelo (físicas y químicas), indicando claramente los beneficios que han permitido la sustentabilidad ambiental, que se ve soportada por el entramado reciclaje de nutrientes producto de la variada diversidad vegetal que lo integra (Alonso 1987).

Las especies de mamíferos, como los primates, que aún se localizan en algunas zonas del estado de Tabasco, se han encontrado confinadas a sitios donde la actividad del hombre les permite vivir o les tolera durante periodos grandes (25 años) como es el caso de los monos aulladores (*Alouatta palliata*), algunos de los cuales han persistido en fincas cacaoteras del municipio de Comalcalco, Tabasco (Muñoz *et al.* 2005) indicando que la comunidad arbórea mas sobresaliente y que es parte de la dieta de los monos aulladores estaba integrada por cinco especies (*Ficus cotinifolia*, *F. obtusifolia*, *Ficus* sp, *Samanea saman* y *Gliricidia sepium*) pertenecientes a las Familias *Fabaceae* y *Moraceae*; este trabajo es importante si se considera que *Alouatta palliata* está reportada en la categoría de especie en peligro de extinción según la NOM-059 (2002). La relación de la diversidad de germoplasma del cacaotal como factor incidente en la abundancia y diversidad de escarabajos de la familia Scolytidae fue estudiada por Pérez (2008), quien recolectó e identificó en 19 especies de plantas hospederas pertenecientes a 11 familias botánicas, escarabajos de la dicha familia, siendo *Theobroma cacao* y *Swietenia macrophylla* las especies donde se recolectaron más organismos.

El mantenimiento de la sombra en las plantaciones de cacao contribuye a crear condiciones para la sobrevivencia de más de 52 especies de aves que realizan la dispersión de semillas, este campo aún requiere la integración de biólogos-botánicos-agrónomos a fin de favorecer la integración al sistema de arboles con características que satisfagan las necesidades de las aves y determinar su impacto al sistema en relación con la deforestación (Greenberg *et al.* 2000). La mayor diversidad florística y de árboles de sombra es el factor que podría haber determinado que sólo dos especies de aves (*M. aurifrons* y *A. albifrons*) sean las causantes de pérdidas económicas en el sistema productivo cacao, aunque valdría la pena cuantificar los umbrales económicos, no obstante, cerca del 68% de las aves, representadas en 57 especies son de hábitos alimenticios insectívoros por lo que sería necesario cuantificar su impacto como control biológico (Cecilia *et al.* 2001).

1.3.1.2. Antecedentes de estudios de Macrofauna edáfica en Tabasco

Uno de los trabajos sobresalientes en el sureste de México es el estudio realizado por Brown *et al.* (2004), aunque mucha de la información analizada se refiere al análisis de comunidades vegetales de pastizales, permite poner a prueba los procedimientos estándar propuestos por la Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) y evidenciar la variación espacial y temporal de la macrofauna edáfica, así como decidir qué época del año podría ser la adecuada para un muestreo de macrofauna edáfica; los resultados del trabajo proporcionan evidencia de que el paso de pastos nativos a pastos introducidos puede conducir a cambios importantes en las poblaciones de macrofauna del suelo e influir en la fertilidad de los mismos. Los efectos positivos de las lombrices de tierra han sido bien documentados en el sureste de México (Fragoso 2001), en ambientes de pastizal Geissen y Morales (2005) evaluaron una comunidad de lombrices de tierra como un factor de la fertilidad de los suelos sobre los cambios en la cubierta de pastizal de uso común (*Cynodon plectostachyus* y *Brachiaria decumbens*), encontrando que la descomposición de la hojarasca y las comunidades de lombrices son indicadores sensibles para la caracterización de la fertilidad del suelo en condiciones tropicales, determinando con ello que el uso de suelo con *Cynodon plectostachyus* en sucesión de bosques en Acrisoles húmicos aumenta su fertilidad, en comparación con el uso de *Brachiaria decumbens*, lo que permitió elaborar una recomendación de uso sustentable del suelo utilizando un monocultivo de *Cynodon plectostachyus* o su combinación con árboles. Los efectos positivos de las lombrices de tierra también han sido valorados como una opción sinérgica en la fertilidad de los suelos (Ortiz-Ceballos *et al.* 2006) comprobando que los residuos de las leguminosas y las lombrices de tierra ejercen una influencia distinta sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz, las lombrices *B. pearsei* y *M. pruriens* fueron encontradas en la biomasa de raíces del maíz. Estos hallazgos resaltan la importancia de la gestión de los residuos orgánicos y lombrices de tierra y de los estudios ecológicos en la producción agrícola sostenible en ecosistemas agrícolas de bajos insumos.

Es necesario realizar más investigación a fin de definir los efectos del cambio de uso del suelo sobre las comunidades de lombrices de tierra, ya que estudios reportados por Geissena *et al.* (2009) indican que las poblaciones de lombrices de tierra pasaron de poblaciones nativas a exóticas en los ambientes monocultivo-sistema agroforestal, en comparación con los bosques de sucesión. Sin embargo, la diversidad y riqueza de especies fueron más altos en los suelos manejados que en los bosques de sucesión. Las restricciones de agua en el área de estudio fueron, al parecer, los factores más importantes para las poblaciones de lombrices de tierra, más que la aplicación de plaguicidas o fertilizantes para el monocultivo de plátano y las plantaciones agroforestales.

En ambientes diversos, incluyendo los sistemas agroforestales de cacao del estado de Tabasco, Huerta *et al.* (2005) hicieron un estudio usando los protocolos propuestos por Tropical Soil Biology Fertility (TSBF) con algunas modificaciones, la finalidad fue determinar la diversidad de especies de lombrices de tierra (*Annelida oligochaeta*); el estudio resultó ser una gran aportación que permitió caracterizar la diversidad y abundancia de diferentes especies de lombrices, así mismo, se dieron a conocer, para el estado de Tabasco, 3 nuevas especies: *Mayadrilus calakmulensis*, *Lavellodrilus sp₁* y *Lavellodrilus sp₂*; de un total de diecisiete ambientes estudiados, para el caso del cultivo de cacao las especies reportadas fueron cinco: *Diploptrema sp*, *Lavellodriles parvus*, *Drawida barwell*, *Periscdrex brachisistis* y *Amyntas gracilis*, las cuales se agruparon en tres categorías, en la(Figura 1.7) se presenta el número de especies por categoría.

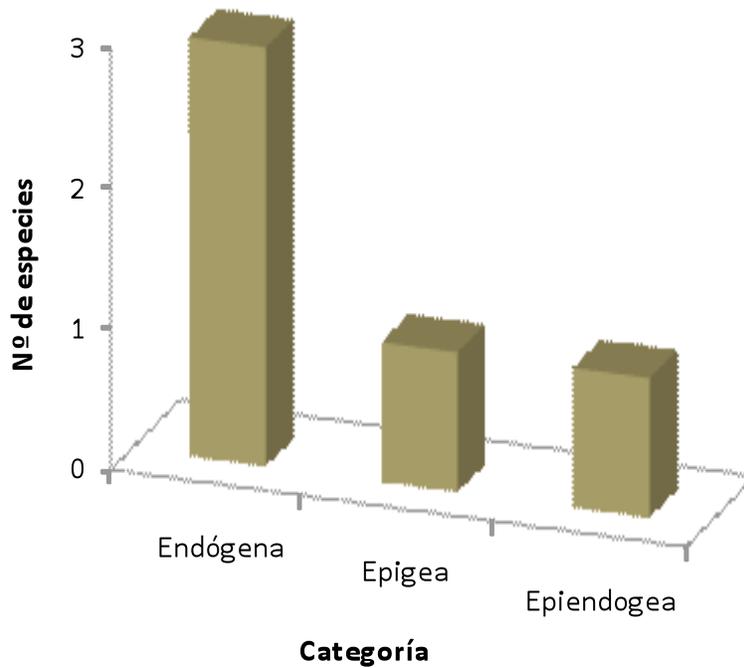


Figura 1.7. Número de especies y categorías reportadas de lombrices de tierra en cacaotales para el estado de Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Huerta *et al.* 2005).

Los estudios sobre hormigas, realizados en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Tabasco por Nuñez (1982) indican que en el sitio donde se consideró el estrato suelo-árbol del sistema cacao-moté la especie más representativa fue *Solenopsis geminata* seguido de *Pheidole rzedowskii*, siendo el suelo en donde se encontraron en mayor proporción, no obstante, también fue posible avistarlas en las plantas de las dos especies vegetales (Figuras 1.8 y 1.9).

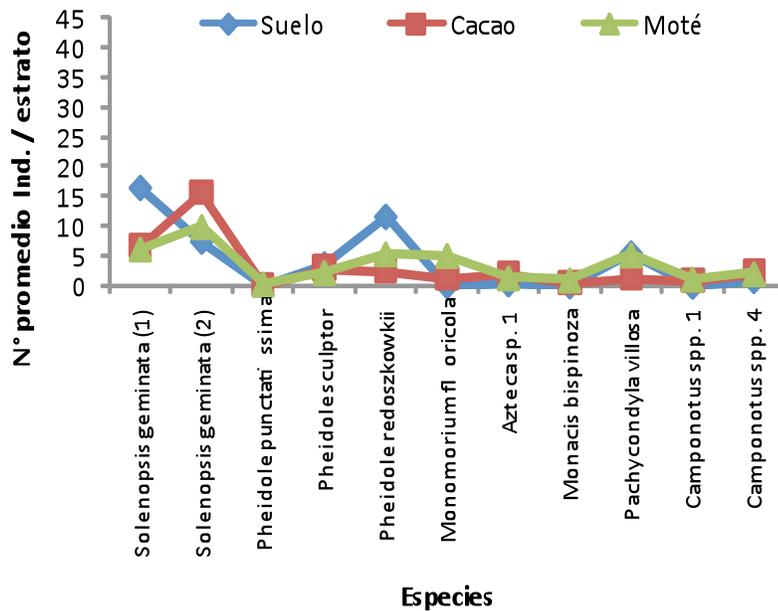


Figura 1.8. Número promedio de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo-árbol de cacao-Moté, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982)

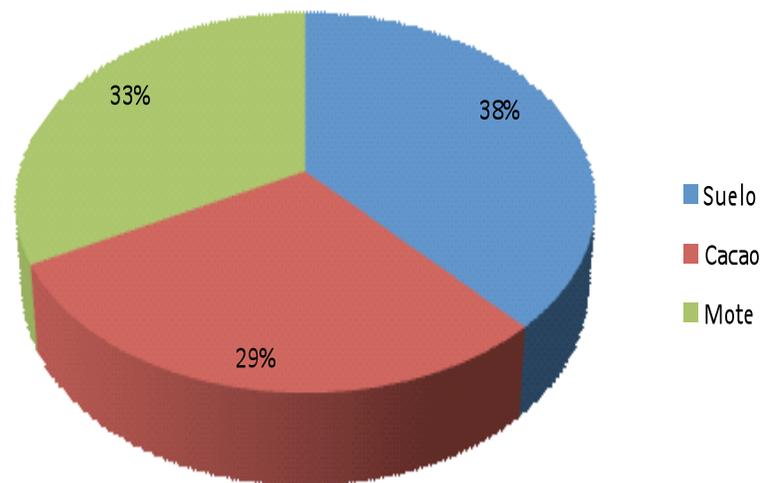


Figura 1.9 Porcentaje de presencia de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo-árbol de Cacao-Moté, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982).

En el sitio 2, donde consideraron los estratos Suelo-Cacao_{1m}-Cacao_{2m}, las especies más representativas fueron *Solenopsis geminata* en suelo, seguido de *Azteca sp.* en el árbol de cacao a dos metros de altura (Figura 1.10). En general,

para este caso la mayor proporción de especies de hormigas se encontró en árboles de cacao a un metro de altura (Figura 1.11).

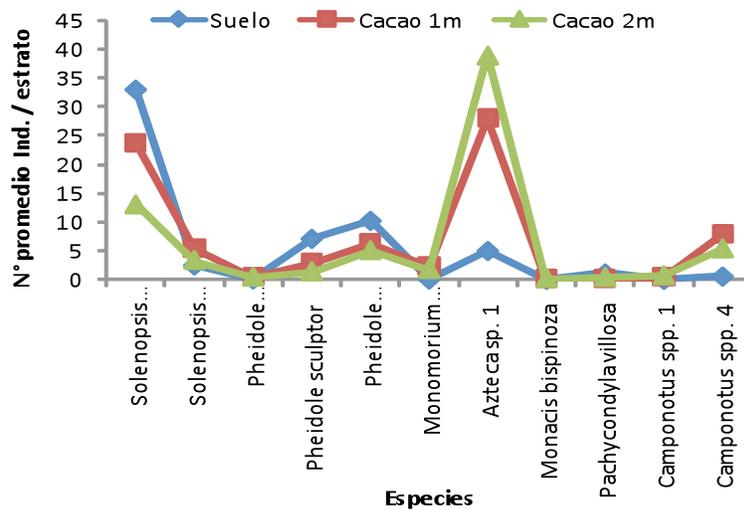


Figura 1.10. Número promedio de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo, 1m-cacao, 2m-cacao, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982).

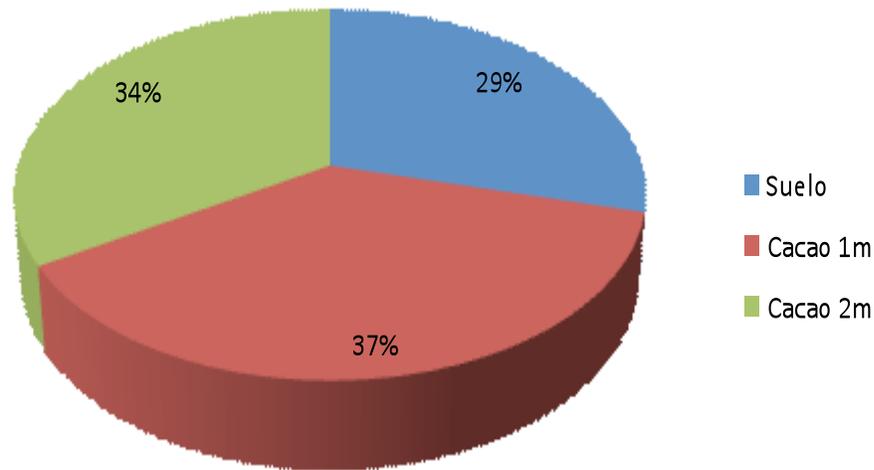


Figura 1.11. Porcentaje de presencia de especies de hormigas por estrato considerando tres estratos: suelo-cacao 1 m-cacao 2 m, en el Municipio de Cunduacán, Tabasco (elaboración propia a partir de los datos de Nuñez 1982).

1.3.2. Medidas de diversidad usadas en estudios realizados en el estado de Tabasco

Los cambios ambientales ocasionados por diversos factores, entre los que destacan los relacionados con el cambio climático, han dado lugar a una creciente investigación de los sistemas terrestres y acuáticos, así como sobre la producción

de madera, los beneficios de la biodiversidad en los ecosistemas forestales, y el establecimiento de áreas recreativas que promuevan la arquitectura del paisaje. En este sentido, una serie de medidas usualmente empleadas y propuestas en procedimientos estándar han sido acreditadas para medir la biodiversidad y su estructura (Swift y Bignell, 2001).

La evaluación de la diversidad suele realizarse en varios niveles, que van desde los genes hasta los ecosistemas. En ambientes arbóreos tropicales la diversidad de especies y la variación estructural en tamaño de las masas forestales son de interés en los programas de manejo forestal (CONAFOR 2001). De manera general, la diversidad está en función de la magnitud observada. La diversidad alfa se refiere a la diversidad dentro de la masa arbórea, la diversidad beta al grado de cambio de la diversidad a lo largo de un gradiente complejo y la diversidad gamma se refiere al nivel de diferenciación que se sitúa a nivel de paisaje (Whittaker 1972).

Entre la diferente metodología que se utiliza para estimar la diversidad, se destaca el uso de los Índices de Shannon-Wiener y de Simpsons, los cuales han sido ampliamente utilizados a pesar de su moderada capacidad discriminatoria y sensibilidad al tamaño muestral (Magurran 1989).

Por otra parte, se han empleado algunas medidas matemáticas para evaluar la biodiversidad en el agroecosistema cacao en Tabasco, no obstante, el índice de Shannon-Winner sigue siendo el más utilizado, seguido del índice de similitud de Sorenson (Figura 1.12).

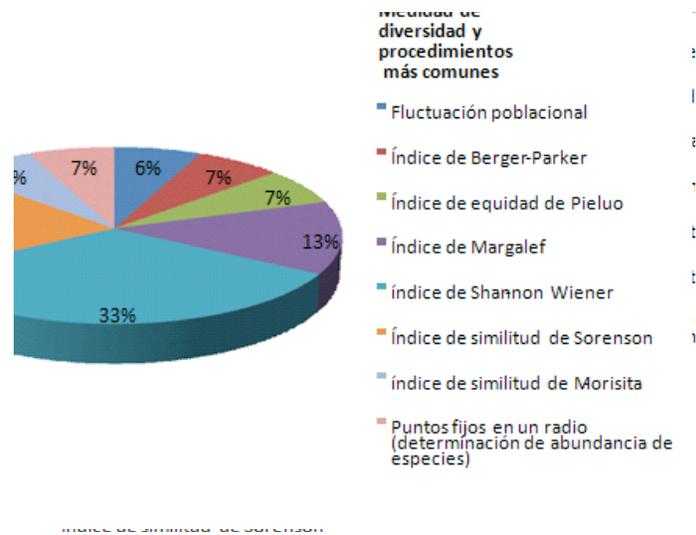


Figura 1.12 Métodos de evaluación de la diversidad más utilizados en el sistema agroforestal cacao en Tabasco.

En el Cuadro 1.1 se detallan algunos de los trabajos que se han realizado en las zonas cacaoteras del estado de Tabasco.

Cuadro 1.1. Trabajos realizados en el sistema agroforestal cacao, enfocados al estudio de la diversidad biológica en el estado de Tabasco.

| Localidad | Suelo | PP (mm) | T (°C) | Edad de la plantación | Objetivo de la investigación | Estrato en estudio | Medición de diversidad | Autor |
|--|-------------------|------------|-----------|-----------------------|---|--|--|---------------------------|
| 11 de Febrero y Tulipán. Carretera Cárdenas-Comalteco | Franco arcilloso | 2230-2270 | 25 | 20 y 15 | <ul style="list-style-type: none"> Conocer las especies de hormigas que son atraídas por el atún, utilizado como alimento proteínico en tres estratos en el cultivo de cacao | Suelo, árboles de cacao y de sombra | <ul style="list-style-type: none"> Fluctuación poblacional. Distribución poblacional por estrato | (Nuñez, 1982) |
| Parte del municipio de Comalteco | Fluvisol | 2260 | 26.7 | | <ul style="list-style-type: none"> Identificar las principales especies usadas como sombra permanente de cacao Dar a conocer las ventajas que tienen los árboles de sombra Analizar el papel de los árboles de sombra | Investigación social (encuestas dirigidas a los productores) | <ul style="list-style-type: none"> ANOVA. Porcentajes de frecuencias totales. Tablas de contingencia | (García, 1983) |
| N y S de Comalteco, N de Teapa, Cunduacacan, Paraiso, Jalpa y Nacajuca. | | | 26 | | <ul style="list-style-type: none"> Dar a conocer los resultados de muestreo de aves en haciendas de cacao en Tabasco | Puntos fijos en un radio (abundancia de especies) | | (Greenberg, et al., 2000) |
| Comalteco | Fluvisol, Gleysol | 2000 | 26 | 15, 20 y 30 | <ul style="list-style-type: none"> Elaborar una cartografía de uso actual de suelo Evaluar los cambios en el uso del suelo Analizar la sustentabilidad | Árboles de cacao y de sombra. | <ul style="list-style-type: none"> Similitud de Sorensen. Diversidad de Shannon | (Ramos Reyes, 2001) |
| Ejido Las delicias R/a. José María Morelos y Pavón, Teapa | | 3933 | 25 | 35 | <ul style="list-style-type: none"> Caracterizar diversidad de especies de arañas por estrato Determinar el patrón de distribución de comunidades de arañas tejedoras Conocer especies dominantes de cada estrato Analizar el efecto de la temperatura y humedad en la abundancia de especies dominantes | Árboles de cacao dividido en tres estratos. | <ul style="list-style-type: none"> Diversidad Shannon-Winner. Diversidad Margalef. Similitud de Sorensen. Índice de Berger-Paker | (De la Cruz, 2005) |
| 2.0 km de Comalteco (18°26' N, 93°32' O) | Fluvisol | 1934 | 26.4 | 25 | <ul style="list-style-type: none"> Determinar el uso de recursos alimentarios por monos aulladores (<i>A. palliata</i>) que habita en una plantación de cacao (<i>Theobroma cacao</i>). | Censo de los árboles de sombra en la plantación | <ul style="list-style-type: none"> Diversidad de Shannon Similitud de Sorensen. | (Muñoz, et al., 2005) |
| Región Chontalpa | | 2052 | 26.4 | | <ul style="list-style-type: none"> Conocer el valor de los cacaotales para la conservación de la biodiversidad avifaunística en el estado de Tabasco. | | <ul style="list-style-type: none"> 1. Diversidad de Shannon 2. Similitud de Morisita-Horn | (Ceclia et al., 2001) |
| Ejidos: Las delicias, R/a. J.M. Morelos y Pavón, Teapa, El Bajío 2da. Secc. Río seco 2da. Secc. Campo Experimental del Campus Tabasco-CP | | 3424, 1993 | 26 y 26.4 | 37, 38, 10 y 45 | <ul style="list-style-type: none"> Identificación de especies de escolífidos asociados al agroecosistema cacao y sus plantas hospederas Comparación de la diversidad de escolífidos presentes en el agroecosistema cacao | Árboles de cacao 1.5m de altura | <ul style="list-style-type: none"> 1. Diversidad Shannon 2. Índice de Margalef. 3. Equidad de Pieluo | (Pérez, 2008) |

- Alonso VR (1987) Contribución de la hojarasca al ciclo de nutrientes, dinámica nutricional de las hojas. Montecillo, Edo., México: Colegio de Postgraduados.
- Barton BD. (2004) La experiencia de las comunidades forestales en México. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Bowersa K, Boutinb C (2008) Evaluating the relationship between floristic quality and measures of plant biodiversity along stream bank habitats. *Ecological Indicators* 8 (5): 466-475.
- Brown GG, Moreno AG, Barrios I, Fragoso C, Rojas P, Hernández B (2004) Soil macrofauna in Se Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 313-327.
- Ibarra MA, Arriaga WS, Estrada MA (2001). Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región de la Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 101-112.
- CESVETAB (2009) Comité Estatal de Sanidad Vegetal. Recuperado el 05 de 09 de 2009, de Comité Estatal de Sanidad Vegetal: www.cesvetab.com/.
- CONAFOR (2001) Programa estratégico forestal para México 2025. México: Comisión Nacional Forestal.
- Córdova AV, Sánchez HM, Estrella CHNG, Macías LA, Sandoval CE, Martínez ST, y Ortíz GF (2001). Factores que afectan la producción de cacao (Theobroma cacao L) en el ejido Francisco I Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. (U. J. Tabasco, Ed.) *Universidad y Ciencia* 17 (34): 93-100.
- De Jong BH, Tipper R, Montoya GG (2000) An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico. *Ecological Economics* 33: 313–327.
- Cruz PA (2005) Diversidad y distribución de arañas tejedoras (Arachnida:Araneae) en el agroecosistema cacao. H. Cárdenas, Tabasco: Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México.

- Fragoso C (2001) Las lombrices de tierra de México (Annelida, Oligochaeta) diversidad ecológica y manejo. *Acta Zoológica Número especial* (1): 131-171.
- García LJL (1983). Los árboles utilizados como sombra de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Comalcalco, Tabasco. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Geissen V, Morales GG (2005) Fertility of tropical soils under different land use systemsa case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology* 31 (1-2): 169-178.
- Geissena V, Peña PK, Huerta E (2009) Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiología*, Artículo en prensa.
- Greenberg R, Bichier P, Cruz A (2000) The conservation value for birds of cacao plantations with diverse planted shade in Tabasco, Mexico. *Animal Conservation* (3): 105–112.
- Herve BD, Vidal BS (2007) Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different management. *Biodivers Conserv* (17): 1821–1835.
- Huerta J, Rodríguez OJ, Evira CI, Montejo ME, Cruz MM, García HR (2005) La diversidad de lombrices de tierra (*Annelida Oligochaeta*) en el estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 21 (042): 76-85.
- ICRAF (2009) ICRAF Recuperado el 04 de septiembre de 2009, de http://www.worldagroforestry.org/af/about_us/our_role_in_agroforestry.
- INEGI (2006). INEGI Recuperado el 04 de 09 de 2009, de www.inegi.org.mx/.
- Kumar BM, Nair PKR (2004) The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61: 35–152.
- Lal R (2005) Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* (220): 242–258.

Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A, Lanaud C (2002) Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Nature* (89): 380–386.

Muñoz D, Estrada A, Naranjo E (2005) Monos Aulladores (*Alouatta palliata*) en una plantación de cacao (*Theobroma cacao*) en Tabasco, México: Aspectos de la Ecología Alimentaria. *Universidad y Ciencia* (Número Especial II): 35-44.

Nair R (1993) *An Introduction to Agroforestry*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers (in cooperation with the International Centre for Research in Agroforestry).

NOM-059-SEMARNAT (2002) Norma oficial mexicana-protección ambiental de especies nativas de México flora y fauna silvestre categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o lista de especies en. México: Diario Oficial de la Federación.

NOM-059-SEMARNAT. (2002). SEMARNAT.

Nuñez BR (1982) Diversidad y dominancia de explotación de un alimento proteínico por las hormigas (Hymoptera: Formicidae) en el Cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.). Cárdenas, Tabasco: Colegio Superior de Agricultura Tropical.

Ortiz CAI, Fragoso C, Brown GG (2007) Synergistic effect of a tropical earthworm *Balanteodrilus pearsei* and velvetbean *Mucuna pruriens* var. *utilis* on maize growth and crop production. *Applied Soil Ecology*: 356-362

Pérez CM (2008) Diversidad y abundancia de escolítidos (Coleoptera: scolytidae) asociados al agroecosistema cacao en Tabasco, México. Montecillo, Texcoco, Edo. México: Colegio de Postgraduados.

Phillips MW, Ortiz CF, Aime CM (2007) Fifty years of frosty pod rot in Central America: Chronology of its spread and impact from Panama to Mexico. [Cincuenta años de presencia de *Moniliasis* del cacao en Centro América: Cronología de su dispersión e impacto desde Panamá hasta México]. En C. V. 1039-1047., In 15 International Cocoa Research Conference Proceedings Nigeria (págs. 1039-1047.). Nigeria.

Rosa SRH, Haridasa M (2007) Recovery of species richness and conservation of native Atlantic forest trees in the cacao plantations of southern Bahia in Brazil. *Biodivers Conserv* (16): 3681–3701.

Salgado MMG, Ibarra NG, Macías SJE (2007) Diversidad arbórea en cacaoales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* 32 (11): 763-768.

Sarukhán (2009) Capital Natural de México: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. (M. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ed.) México, Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan, 14010 México, D.F., México: CONABIO.

SIAP (2009) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera . Recuperado el 05 de 09 de 2009, de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera : www.siap.gob.mx/.

Swift M, Bignell D (2001) Standard methods for assessment of soil biodiversity and land use practice. Bogor, Indonesia: International Centre for Research in Agroforestry.

Whittaker RH (1972) Evolution and Measurement of Species Diversity. *International Association for Plant Taxonomy (IAPT)* 21 (2/3): 213-251.

Wiersum K (2004) Forest gardens as an 'intermediate' land-use system in the nature–culture. *Agroforestry Systems* (61): 123–134.

**CAPITULO II. DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN PLANTACIONES
AGROFORESTALES DE CACAO EN CÁRDENAS, TABASCO**

DIVERSIDAD FLORÍSTICA EN PLANTACIONES AGROFORESTALES DE CACAO EN CÁRDENAS, TABASCO

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en seis parcelas agroforestales de cacao del Ejido Miguel Hidalgo 2da. Sección, Municipio de Cárdenas, Tabasco, México, seleccionándose tres parcelas de treinta y tres más de cincuenta años de edad. Se determinó la composición florística, analizándose la riqueza de especies, similitud, estructura de la vegetación y diversidad de usos de las especies vegetales arbóreas. Los resultados muestran una composición florística de 503 individuos, 23 familias, 30 géneros y 32 especies para las parcelas de treinta años y 1238 individuos, 24 familias, 40 géneros y 44 especies para las de cincuenta. El índice de diversidad de Shannon-Wiener mostró diferencia estadística altamente significativa $p < 0.01$ a nivel de familia, género y especie; las parcelas de 50 años son más diversas que las de 30. Los índices de similitud de Jaccard (cualitativo), Sonrenson Is (cualitativo y cuantitativo) y Morista-Horn (cuantitativo), indicaron una clara tendencia a la disimilitud. A nivel estructural las parcelas de 30 años presentaron una mayor área basal ($58 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), destacando *Samanea saman*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia*, y *Erythrina sp* que representan 52% del total del índice de valor de importancia (VIR), en las de 50 años el área basal corresponde a $38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ destacando las especies *Colubrina arborescens*, *Musa sp.*, *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia* y *Cedrela odorata* que suman 44% del VIR. A nivel de usos se observó diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$) las parcelas de mayor edad presentaron mayor riqueza en usos con respecto a las más jóvenes.

Palabras clave: Sistema agroforestal cacao; Diversidad florística; Diversidad

FLORISTIC DIVERSITY IN CACAO AGROFORESTRY SYSTEM IN CARDENAS, TABASCO

ABSTRACT

This research was carried out in two cocoa agroforestry systems of 30 and 50 years old, with three replications each, in the Ejido Miguel Hidalgo 2da. Sección, Municipio de Cardenas, Tabasco, Mexico. Species diversity, species richness, species similarity and plant structure as well as the use of tree species by farmers was analyzed. Results showed that within the 30 years old cocoa plantations there were found 503 plant individuals, from which 23 plant families, 30 genus and 32 plant species were indentified; on the contrary, in the older cocoa plantations there were found 1238 individuals, from which 24 plant families, 40 genus and 44 plant species were identified. The Shannon-Wiener index showed higher statistical significance $p < 0.01$ at family, genus and species within the 50 years old systems as compared with the 30 years old agroforestry system. Plantations older than 50 years were more diverse than the 30 years old. The Jaccard (cualitative), Sorensen (cualitative and quantitative) and Morishita-Horn (quantitative) indexes showed a clear non-similarity trends. 30 years old cocoa agroforetry systems showed higher basal area ($58 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) being *Samanea saman*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia*, and *Erythrina sp* the most important species that represent 52% of the relative importance value; within the 50 years old agroforestry systems the basal area was $38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ with *Colubrina arborescens*, *Musa sp.*, *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia* and *Cedrela odorata* as the most important species that make a total of 44% of the relative importance value. The older cocoa agroforestry system showed higher statistical significance ($p < 0.01$) than the younger system for the variety of use of tree species.

Key words: Cocoa agroforestry system; plant diversity, Mexico

2.1. INTRODUCCIÓN

La región cacaotera del estado de Tabasco se extiende por una extensa catena pedológica que se ha desarrollado paralela al cauce del Río Grijalva, prolongándose desde la Sierra Norte de Chiapas hasta su desembocadura al Golfo de México, como resultado de la actividad de las antiguas etnias asentadas en el cauce de la ribera de dicho río y sus afluentes. El sistema agroforestal cacao fue practicado en el estado de Tabasco desde tiempos prehispánicos siendo dicha especie domesticada por la cultura maya (Motamayor *et al.* 2002). El cultivo de cacao en Tabasco, ocupa el tercer lugar en importancia económica según el valor de la producción reportado hasta el año 2007 (\$ 369 387) (Anónimo 2008), y el primero en superficie establecida a nivel nacional (Anónimo 2009), incluyendo, en el siguiente orden de importancia por superficie cultivada, a los municipios de Comalcalco, Cárdenas, Cunducán y Huimanguillo (Anónimo 2008). El agroecosistema cacao en Tabasco actualmente enfrenta desafíos que están relacionados con diferentes dimensiones, tanto ambientales como socioeconómicas, que ponen en riesgo gran parte de la biodiversidad que alberga, la cual ha sido caracterizada y valorada por varios autores (Nuñez 1982; García 1983; Greenberg *et al.* 2000; Cecilia *et al.* 2001; Ramos 2001; de la Cruz 2005; Pérez 2008), cada uno de los cuales ha ratificado categóricamente la importancia de conservarla y preservarla como sistema productivo, o bien como áreas de amortiguamiento y sitios de refugio para la fauna silvestre (aves) asociada al cultivo y conservación del germoplasma. Al analizar los estudios en las zonas tropicales, es notorio el trabajo que se ha hecho en los sistemas agroforestales al considerarlos como importantes áreas de conservación (Clough *et al.* 2009), así también por su capacidad de producir madera, frutos comestibles y conservar numerosas especies forestales (Méndez *et al.* 2007; Oke y Odebiyi, 2007; Bhagwat *et al.* 2008). Por otra, parte es destacable el trabajo realizado por Dahlquist *et al.* (2007), quienes a partir del enfoque de medios de vida analizan la situación en torno a los beneficios de incrementar la diversidad debido a que

ofrecen ventajas comparativas con respecto a sistemas mono específicos (un solo cultivo).

Por otra parte, se han reportado cambios en la superficie establecida de cacao para el estado de Tabasco, donde la reducción alcanza aproximadamente al 32% solo en el periodo comprendido entre 2004 y 2005, cifra que se ha mantenido sin cambio perceptibles hasta la última cosecha reportada en 2009 (Anónimo 2009). Las causas podrían estar asociada a factores ambientales y socioeconómicos, aspectos que no son tema de discusión en esta trabajo; no obstante, es necesario establecer planes de gestión del recurso agroforestal en el sistema productivo cacao. El presente trabajo de investigación realiza un análisis de la diversidad y la estructura en fincas cacaoteras del Ejido Miguel Hidalgo, perteneciente al municipio de Cárdenas, Tabasco, México.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Ejido Miguel Hidalgo 2da Sección, municipio de Cárdenas, Tabasco, que se ubica en las entre las coordenadas 18°04'42.09" de latitud norte, 93°21'05.85" longitud oeste, a 14 km de la cabecera municipal, siguiendo la carretera Cárdenas-Comalcalco. En la Figura 2.1 se presenta la ubicación geográfica de las parcelas de estudio.

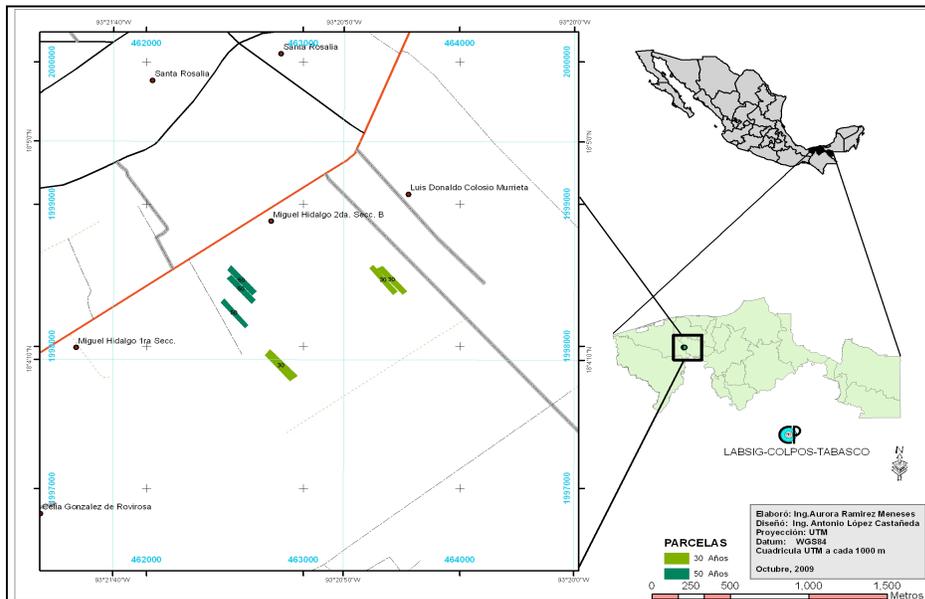


Figura 2.1. Ubicación geográfica de las parcelas de estudio en el Ejido Miguel Hidalgo 2da. Sección.

2.2.2. Diseño de muestreo

En visitas realizadas al Ejido Miguel Hidalgo 2da sección, se identificaron varias plantaciones de cacao de 30 años y 50 años de edad para, posteriormente seleccionar tres de cada edad, resultando en un total de seis; se buscó, además de la edad (Hervé y Vidal 2008), que las plantaciones fueran homogéneas en cuanto a condiciones de manejo y situaciones edáficas similares tomada de la información cartográfica de suelos generada por Salgado *et al.* (2005). Una vez localizados los sitios, se georeferenciaron en el terreno (Bautista *et al.* 2004) y se trazaron parcelas de una hectárea (10000 m²) delimitándolas con cuerdas, con la ayuda de una cinta métrica de 50 m.

2.2.3. Variables medidas en las parcelas

Los muestreos de las parcelas se llevaron a cabo mediante recorridos de Norte a Sur, como lo indican (Woldemariam *et al.* 2008) en los cuales se determinó la composición florística mediante el registro de cada uno de los árboles de cacao, de sombra y arbustos; de cada individuo contabilizado se anotó el nombre común asignado en la región, además de las siguientes variables dasométricas: altura total, con ayuda de un clinómetro, y diámetro a la altura de pecho (Dap_{1.30m}), con una cinta métrica (Guiracocha 2000). Las plantas no conocidas fueron cotejadas

con los productores colectándose, con la ayuda de una garrocha, muestras botánicas de cada una de las especies registradas, las cuales fueron prensadas y trasladadas al Herbario CSAT del Campus Tabasco donde fueron procesadas para su herborización de acuerdo con la metodología propuesta por Lot y Chiang (1986) e identificadas a nivel de familia, género y especie, con la ayuda de bibliografía especializada.

2.2.4. Análisis de la composición florística, diversidad y estructura de los sistemas agroforestales de cacao de treinta y cincuenta años

2.2.4.1. Composición

La composición florística se analizó mediante la elaboración de una base de datos de todos los individuos registrados en las parcelas, agrupándose en familias, géneros y especies, incluyendo su nombre común y la ubicación geográfica de las parcelas donde se localizaron para luego hacer la comparación entre las parcelas de las dos diferentes edades. También fueron agrupados de acuerdo a los principales usos alternativos que de ellos hacen los productores (Salgado 2007).

2.2.4.2. Índice de Diversidad y similitud

2.2.4.2.1. Análisis de la diversidad y uniformidad

Para el análisis de diversidad se utilizó el índice de Shannon-Wiener (H'), que se basa en la abundancia proporcional de especies y, que representa la riqueza de especies presentes en un área determinada (Magurran 1989).

Índice de diversidad de Shannon

A partir de la información obtenida en campo, se generó una base de datos utilizando el paquete Excel (Anónimo 2007) donde se agruparon los individuos correspondientes a cada especie, creándose una tabla con dos columnas, una para número de especies y la otra para números de individuos, donde quedaron registradas todas las especies de cada una de las parcelas de 30 y 50 años, posteriormente la información se integró según la edad correspondiente. Para el cálculo del índice diversidad (H') se utilizó la siguiente ecuación (2.1):

$$H' = - \sum \rho_i (\ln \rho_i) \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

donde $\sum \rho_i$ es igual a la abundancia proporcional de la i-ésima especie, es $\left(\frac{n_i}{N}\right)$.

Se estimó la varianza de la diversidad de las dos poblaciones en estudio aplicando la ecuación (2.2).

$$\text{var } H' = \left(\frac{(\sum p_i (\ln p_i)^2) - (\sum p_i \ln p_i)^2}{N} \right) - \left(\frac{S-1}{2N^2} \right) \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Donde S es el número de especies y N es el número total de individuos. Para comparar la diversidad de las dos poblaciones se utilizó la ecuación (2.3).

$$t = \left(\frac{H_1' - H_2'}{(\text{var } H_1' + \text{var } H_2')^{1/2}} \right) \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde H1' y H2' es la diversidad de la población 1 y 2, y var H1' y var H2' su varianza correspondiente. Los grados de libertad se calcularon mediante la siguiente ecuación (2.4).

$$df = \left[\frac{(\text{var } H_1' + \text{var } H_2')^2}{\left[\frac{\text{var } H_1'}{N_1} \right] + \left[\frac{\text{var } H_2'}{N_2} \right]} \right] \quad \text{Ecuación (2.4)}$$

Donde N₁ y N₂ es el número de individuos en la población 1 y 2. Posteriormente se comparó el valor obtenido de la ecuación (2.4) y comparándose con el valor de la *t* (*p*<0.05 y *p*<0.01), realizándose los análisis por especie, familia y género.

Índice de uniformidad de Shannon

Se cálculo con la finalidad de conocer la abundancia relativa de especies representada como la equidad o uniformidad, este índice sirve para conocer el grado en que los individuos de diferentes especies son similares, ecuación (2.5).

$$E = H' / \ln S \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

donde H' es el índice de Shannon y *ln* es el logaritmo natural del número de especies (S). Realizándose el análisis por especie, familia y género.

2.2.4.2.2. Índices de similitud

El análisis de similitud entre las dos poblaciones agroforestales de cacao de 30 y 50 años de edad se realizó mediante el cálculo de las medidas de Jaccard para

datos cualitativos, Sorenson para datos cualitativos y cuantitativos y el de Morisita-Horn cuyos valores tienden a ser igual a uno en caso de similitud completa e igual a cero si las poblaciones son disimilares y no tienen especies en común. El cálculo de estos índices, se realiza mediante las siguientes ecuaciones (2.6, 2.7, 2.8 y 2.9) (Cuadro 2.1) (Magurran 1989).

Cuadro 2.1. Medidas de similitud realizadas en el estudio

| Medida de similitud | Ecuación |
|-------------------------------|---|
| Jaccard (cualitativo) | $C_j = \frac{j}{(a + b + 1)}$ <p style="text-align: right;">Ecuación (2.6)</p> <p>Donde j= número de especies comunes en ambas localidades. a= número de especies en la localidad A. b= número de especies en la localidad B.</p> |
| Sorenson (cualitativo) | $C_s = \frac{2c}{(a + b)}$ <p style="text-align: right;">Ecuación (2.7)</p> <p>a= números de especies presentes en el sitio a. b= número de especies presentes en el sitio B. c= número de especies presentes en ambos sitios</p> |
| Sorenson (cuantitativo) | $C_N = 2j_N / (aN + bN)$ <p style="text-align: right;">Ecuación (2.8)</p> <p>donde aN= número de individuos en la población A bN= número de individuos en la localidad B j_N= suma de las abundancias de especies de la población que presenta la abundancia inferior</p> |
| Morisita-Horn (cuantitativos) | $C_{MH} = \frac{2\sum(an_i \times bn_i)}{(da + db) \times (aN \times bN)}$ <p style="text-align: right;">Ecuación (2.9)</p> <p>Donde aN= número de individuos en la localidad A. bN= número de individuos en la localidad B. an_i= número de individuos de la i-ésima especie en la localidad A. bn_i= número de individuos de la i-ésima especie en la localidad B.</p> $da = \frac{\sum an_i^2}{aN^2} \quad y \quad db = \frac{\sum bn_i^2}{bN^2}$ |

2.2.4.3. Análisis Estructural

Los datos dasométricos ($Dap_{1.30m}$ y altura m) se ordenaron por parcela evaluada ($10,000 \text{ m}^2$) y por edad de la plantación. La evaluación de la estructura de las parcelas de 30 y 50 años se llevó a cabo por medio del índice de valor de importancia relativa (VIR), el cual es estimado a partir de los parámetros: área basal relativa, densidad relativa por unidad de área y frecuencia relativa de las especies, calculándose a partir de la siguiente ecuación (2.10):

$$VIR(\%) = \frac{ABR + FR + DR}{3} \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

Donde ABR , es el área basal relativa, FR es la frecuencia relativa por parcela y DR es la densidad relativa. El ABR está dado por la siguiente ecuación (2.11).

$$ABRA(\%) = \sum \frac{ABi / pt}{ABt} \times 100 \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

Donde ABi , es el área basal de cada árbol entre el número total de parcelas (pt) y $\sum ABt$, es la suma total del área basal de todas las especies. El área basal de cada árbol se obtuvo con la siguiente ecuación (2.12):

$$AB = \left(\frac{Dap_{1.30m}}{2} \right)^2 \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

Donde AB es área basal por individuo, el $Dap_{1.30m}$, es el diámetro a una altura de 1.30 m.

La Densidad relativa (DR), es directamente proporcional al número total de individuos de la especie a estudiar (Di) por unidad de área, para nuestro caso en $10000m^2$, de las parcelas (pt), e inversamente proporcional al número total de individuos censados en las parcelas de estudio (Dt); la DR es calculada con la ecuación (2.13).

$$DR(\%) = \sum \frac{Di / pt}{Dt} \times 100 \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

La frecuencia relativa (FR), es igual al número de apariciones de la especie (Npi) entre el número de parcelas en estudio (pt), inversamente proporcional al número total de parcelas en que aparece la especie en estudio (Np) e inversamente proporcional a la sumatoria total de las proporciones de las especies por parcela (NpT) y es estimada mediante la ecuación 2.14.

$$FR = \sum \frac{Npi / pt}{NpT} \times 100 \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

Se realizó una agrupación por clases diamétricas de las más especies más representativas, que significan un 50% del valor del VIR , las cuales fueron graficadas en histogramas y una prueba de Shapiro-Wilk para determinar su distribución normal (distribución tipo 1) que indica el predominio las clases

diamétricas intermedias sobre la primeras y últimas clases diamétricas, o en su defecto la distribución normal logarítmica (distribución tipo 2) que indica un claro predominio de las primeras clases diamétricas y, en consecuencia, especies de menor porte o bien mayor regeneración natural, o en su caso renovación inducida por el hombre.

2.2.4.4. Análisis de los usos de las especies arbóreas

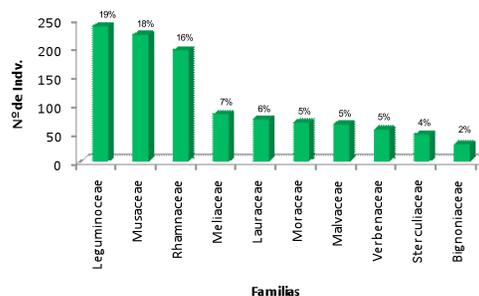
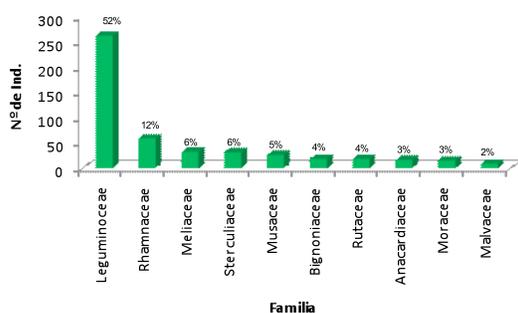
El estudio de los diferentes usos de la comunidad arbórea en los cacaotales se hizo con base en bibliografía relacionada con el tema, posteriormente se integró la información a la base de datos por especie construida en el programa Excel 2007 (Anónimo 2007) para, posteriormente, generar una base de información por uso a nivel de cada especie arbórea por edad (30 y 50 años) y realizar un análisis multidimensional a partir de software StatSoft v 6 (Anónimo, 2003), mediante la construcción de gráficos del tipo Icon Plots-Pies, los cuales representan a los casos o unidades de observación como símbolos multidimensionales; el análisis consiste en la valoración de los diferentes atributos (usos/especie) simplificados en gráficos de pastel; los valores relativos de las variables se representan por el tamaño de las fracciones del círculo. Posteriormente se realizó un análisis de la diversidad de usos de las especies arbóreas mediante los índices de diversidad y uniformidad de Shannon (H' y E') y su posterior valoración a partir de la prueba *t test* al $p < 0.05$ y $p < 0.01$ a fin de determinar la diferencia entre las parcelas con edad de 30 años vs 50 años. Finalmente, las especies fueron agrupadas por uso, de acuerdo con el índice de valor de importancia (VIR %), determinando su importancia estructural por uso para las parcelas de 30 y 50 años.

2.3. RESULTADOS

2.3.1. Composición florística

En las parcelas de 30 años se registró un total de 503 individuos pertenecientes a 32 especies que se agruparon en 23 familias y 30 géneros, en tanto que en las parcelas de 50 años el registro ascendió 1238 individuos pertenecientes a 44 especies que se agruparon en 24 familias y 40 géneros.

Las familias mejor representadas en las parcelas de 30 años fueron: Leguminosae con un total de 262 individuos, que corresponden al 52%, Rhamnaceae con 59 (12%), Meliaceae con 32 (6%), Sterculiaceae con 31 (6%), Musaceae con 26 (5%) y Bignoniaceae con 18 (4%); juntas estas seis familias agrupan al 75% de todos los individuos (Figura 2.2a). Para el caso de las parcelas de 50 años las familias mejor representadas fueron Leguminosae con 237 individuos (19%), Musaceae con 222 (18%), Rhamnaceae con 195 (16%), Meliaceae con 83 (7%), Lauraceae con 74 (6%) y Moraceae con 68 (5%) que juntas agrupan el 71% (Figura 2.2b).

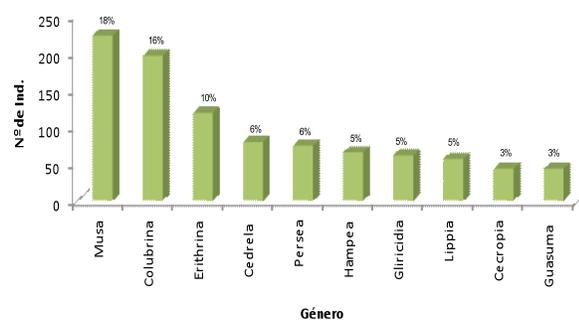
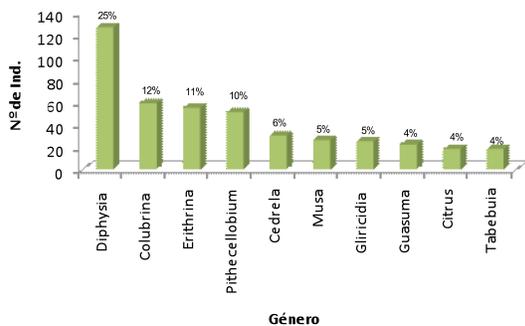


a)

b)

Figura 2.2. a) Familias que presentaron el mayor número de individuos registradas en las parcelas de 30 años y (b) 50 años de edad.

Los géneros mejor representados en las parcelas de 30 años fueron: *Diphysa* 25% (127), *Colubrina* 12% (59), *Erythrina* 11% (55), *Samanea* 10% (51), y *Cedrela* 6% (30) que juntos agrupan al 64% de todos los individuos (Figura 2.3a). Para el caso de las parcelas de 50 años los géneros mejor representados fueron *Musa* 18% (122), *Colubrina* 16% (195), *Erythrina* 10% (118), *Cedrela* 6% (79), *Persea* 6% (74) y *Hampea* 5% (65) que agrupan al 61% (Figura 2.3b).

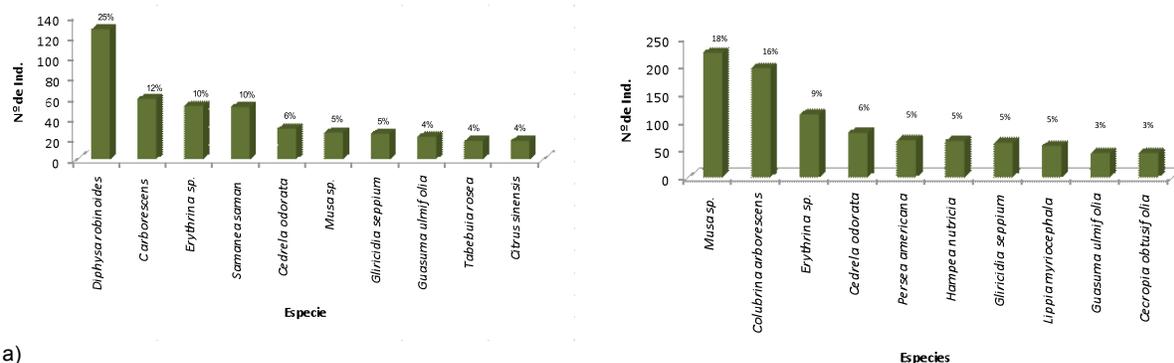


a)

b)

Figura 2.3. a) Géneros con mayor número de individuos registrados en las parcelas de cacao de (a) 30 años y (b) 50 años de edad.

En cuanto a especies, las que estuvieron mejor representadas en las parcelas de 30 años fueron: *Diphysa robinoides* 25% (127), *Colubrina arborescens* 12% (59), *Erythrina sp* 10% (52), *Samanea saman* 10% (51) y *Cedrela odorata* 6% (30) que juntas agruparon al 63% del total de los individuos (Figura 2.4a) y para las parcelas de 50 años fueron *Musa sp.* 18% (222), *Colubrina arborescens* (16% (195), *Erythrina sp* 9%(112), *Cedrela odorata* 6% (79) y *Persea americana* 5% (66) que agrupan al 54% del total de individuos (Figura 2.4b).



a) **Figura 2.4. a) Especies con mayor número de individuos registradas en las parcelas de cacao de (a) 30 años y (b) 50 años de edad.**

2.3.2. Riqueza de especies en parcelas de 30 y 50 años de edad asociadas al sistema agroforestal cacao, en Tabasco, México

En el (Cuadro 2.2), se presentan los resultados del análisis de diversidad para las dos edades estudiadas mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener (base logarítmica natural) (H'), el cual alcanzó su valor máximo en las plantaciones de 50 años; los análisis corresponden a cada uno de los componentes: a nivel de familia, género y especie. La prueba de (*tes t p <0.01*), indica diferencia altamente significativa, lo que permite deducir que las plantaciones con edad de 50 años son más diversas que las de 30, tanto para familias como para géneros y especies. El valor de la uniformidad de Shannon-Wiener (E) varía de 0.62 en las plantaciones de 30 años y de 0.79 en las plantaciones de 50 años para el componente familia, lo que implica un acercamiento hacia la uniformidad, este aspecto es más evidente en las parcelas de 50 años. Para el caso del componente género y especie el valor es semejante para ambos sistemas.

Cuadro 2.2. Análisis de la diversidad de especies por edad 30 y 50 años en plantaciones agroforestales de cacao

| Parámetros | Análisis | | | | | |
|---------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | Familia | | Genero | | Especie | |
| | 30 | 50 | 30 | 50 | 30 | 50 |
| H' | 1,79 | 2,52 | 2,56 | 2,85 | 2,57 | 2,89 |
| E | 0,62 | 0,79 | 0,75 | 0,77 | 0,75 | 0,77 |
| Var H' | 0,00342 | 0,00077 | 0,00218 | 0,00092 | 0,00225 | 0,001 |
| Nº de individuos | 503 | 1238 | 503 | 1238 | 503 | 1238 |
| Nº de especies | 23 | 24 | 30 | 40 | 32 | 40 |
| Valores de $t_{0,05}$ tabulados | 1,96 | | 1,96 | | 1,96 | |
| Valores de $t_{0,01}$ tabulados | 2,57 | | 2,57 | | 2,57 | |
| Valores de t calculados | 11,176 | | 5,205 | | 5,624 | |
| Grados de libertad | 740,85 | | 949,017 | | 970,79 | |

2.3.3. Análisis de similitud entre parcelas del sistema agroforestal cacao de dos edades diferentes en Tabasco, México

El (Cuadro 2.3), se presentan los valores obtenidos de los índices de similitud utilizados en el análisis de la información. A nivel de familia se observa una tendencia a la similitud, lo que indica que las parcelas comparten algunas familias; a nivel de género y especie el índice cuantitativo de Sonrenson y el cualitativo de Jaccard indican más bien una tendencia a la disimilitud.

Cuadro 2.3. Medidas de similitud por edad 30 y 50 años en plantaciones agroforestales de cacao

| Índices | Familias | Genero | Especie |
|------------------------------|----------|--------|---------|
| | Valor | Valor | Valor |
| Jaccard (cualitativo) | 68,00% | 55,60% | 51,00% |
| Sonrenson Is (cualitativos) | 81,00% | 71,40% | 67,60% |
| Sonrenson Is (cuantitativos) | 54,60% | 40,70% | 40,70% |
| Morista-Horn (cuantitativo) | 67,30% | 58,10% | 58,30% |

2.3.4. Análisis de la estructura

Los Cuadro 2.4 y Cuadro 2.5, presentan los atributos estructurales de cada una de las especies para las plantaciones de treinta y cincuenta años, respectivamente, en el análisis sólo se incluyeron los valores de las especies con un $Dap_{1,30m} > 7.5$ cm.

Cuadro 2.4. Atributos estructurales de la vegetación en parcelas de una hectárea en plantaciones agroforestales de cacao de 30 años de edad.

| Nombre Científico | Da(ha) | Dr (%) | ABr (%) | Fr (%) | VIR (%) |
|-------------------|--------|--------|---------|--------|---------|
|-------------------|--------|--------|---------|--------|---------|

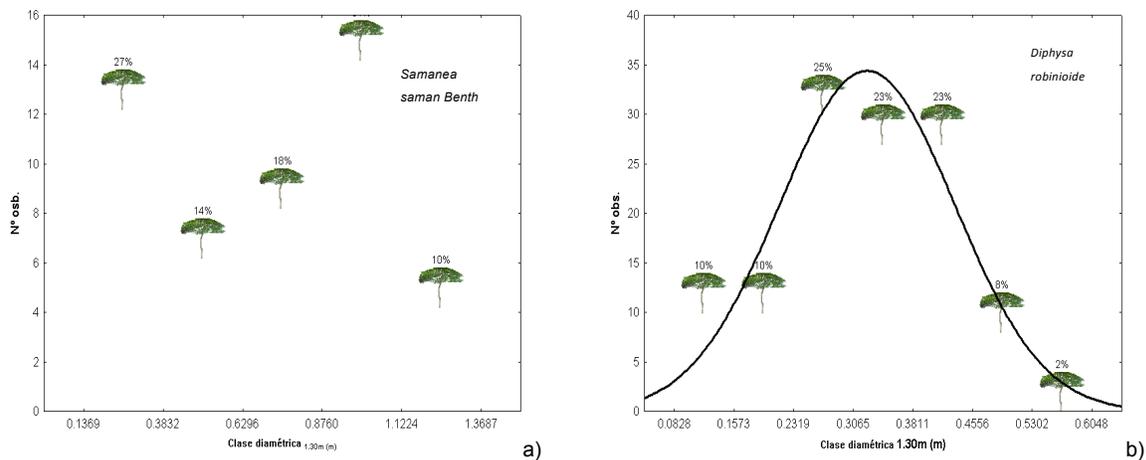
| | | | | | |
|--|-----|------|-------|-------|-------|
| <i>Samanea saman</i> Benth | 49 | 10,9 | 40,7 | 5,4 | 19,0 |
| <i>Diphysa robinoides</i> | 126 | 28,0 | 19,5 | 5,4 | 17,6 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | 22 | 4,9 | 12,8 | 5,4 | 7,7 |
| <i>Erythrina</i> sp. | 51 | 11,3 | 5,1 | 5,4 | 7,3 |
| <i>Colubrina arborescens</i> (Mill) Sarg. | 53 | 11,8 | 3,1 | 5,4 | 6,8 |
| <i>Gliricidia sepium</i> | 23 | 5,1 | 4,3 | 5,4 | 4,9 |
| <i>Cedrela odorata</i> L | 23 | 5,1 | 1,8 | 5,4 | 4,1 |
| <i>Musa</i> sp. | 23 | 5,1 | 0,6 | 5,4 | 3,7 |
| <i>Citrus sinensis</i> | 16 | 3,6 | 1,2 | 5,4 | 3,4 |
| <i>Mangifera indica</i> L. | 15 | 3,3 | 4,3 | 1,8 | 3,2 |
| <i>Tabebuia rosea</i> Bert. DC. | 7 | 1,6 | 0,4 | 5,4 | 2,4 |
| <i>Artocarpus altilis</i> (Parq.) Forsb. ** | 4 | 0,9 | 0,2 | 5,4 | 2,1 |
| <i>Theobroma bicolor</i> | 9 | 2,0 | 0,8 | 3,6 | 2,1 |
| <i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol. | 6 | 1,3 | 1,4 | 3,6 | 2,1 |
| <i>Erythrina</i> sp. | 3 | 0,7 | 1,8 | 3,6 | 2,0 |
| <i>Inga jinicuil</i> Schl. | 3 | 0,7 | 0,4 | 3,6 | 1,6 |
| <i>Hampea nutricia</i> Fryxell | 3 | 0,7 | 0,2 | 3,6 | 1,5 |
| <i>Lippia myriocephala</i> S. E. C. | 3 | 0,7 | 0,2 | 3,6 | 1,5 |
| <i>Potueria sapota</i> (Jacq) H.E.M.E.S | 2 | 0,4 | 0,3 | 3,6 | 1,4 |
| <i>Artocarpus altilis</i> (Parq.) Forsb. | 2 | 0,4 | 0,4 | 1,8 | 0,9 |
| <i>Ormosia macrocalyx</i> Ducke | 1 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 0,7 |
| <i>Mammea americana</i> L | 1 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 0,7 |
| <i>Swietenia macrophylla</i> Kina | 1 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 0,7 |
| <i>Heliocarpus donell-smithii</i> Rose | 1 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 0,7 |
| <i>Guarea grandifolia</i> . DC. | 1 | 0,2 | 0,0 | 1,8 | 0,7 |
| <i>Carica papaya</i> L | 1 | 0,2 | 0,0 | 1,8 | 0,7 |
| <i>Attalea butyracea</i> | 1 | 0,2 | 0,0 | 1,8 | 0,7 |
| | 27 | 450 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Da(ha) = Densidad de individuos por hectárea; Dr (%) = Densidad relativa de individuos; ABr (%) = Área basal relativa; Fr (%) = Frecuencia relativa; VIR (%) = Índice de valor de importancia; **Artocarpus altilis* (con semilla).

El área basal de los individuos fue de 58.1 m² ha⁻¹, cuatro especies destacan y en general reúnen el 52% del índice de valor de importancia (VIR), *Samanea saman*, sobresale por su mayor área basal relativa con árboles que exceden los 1,37 m Dap_{1.30m}, presentado clases diamétricas variables, distinguiéndose por su mayor proporción de individuos de la clase diamétrica 0.87-1.12 m (Figura 2.5a) y alturas superiores a los 37 m; la segunda especie, *Diphysa robinoides* presenta una mayor densidad relativa, con Dap_{1.30m} que exceden 0.59 m (Figura 2.5b), presentado un porcentaje bajo de individuos en las primeras y últimas clases

diamétricas e incrementándose en las intermedias, con alturas superiores a los 26 m; la tercera especie, *Guazuma ulmifolia*, destaca por su área basal relativa, con árboles que exceden a los 1,27 m $Dap_{1.30m}$, presentado un alto porcentaje de individuos en las primeras clases diamétricas (Figura 2.5c), con alturas superiores a los 30 m, y por ultimo *Erythrina sp.* que se destaca principalmente por su mayor densidad relativa, con árboles que exceden 0.72 m $Dap_{1.30m}$, presentando un alto porcentaje en las primeras clases diamétricas (Figura 2.5d), con alturas superiores a los 17 m.

Para las parcelas de 50 años el área basal de los individuos es de $38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, seis especies reúnen un total de 44% del VIR, destacando, en el siguiente orden, *Colubrina arborescens*, *Gliricidia seppium*, *Diphysa robinoides*, *Musa sp.*, *Guazuma ulmifolia* y *Cedrela odorata* con $Dap_{1.30m}$ que exceden a los 0.39, 0.88, 0.19, 0.72, 0.42 y 0.57, respectivamente. *Colubrina arborescens*, *Gliricidia seppium*, *Musa sp.*, *Guazuma ulmifolia* y *Cedrela odorata*, que presentan un alto porcentaje en las primeras clases diamétricas (Figura 2.6), con alturas superiores a los (30, 30, 12, 35, y 30); para el caso de *Diphysa robinoides*, presenta diámetros que llegan a exceder a los 0.57 m, presentando una mayor proporción de individuos en las clases diamétricas intermedias.



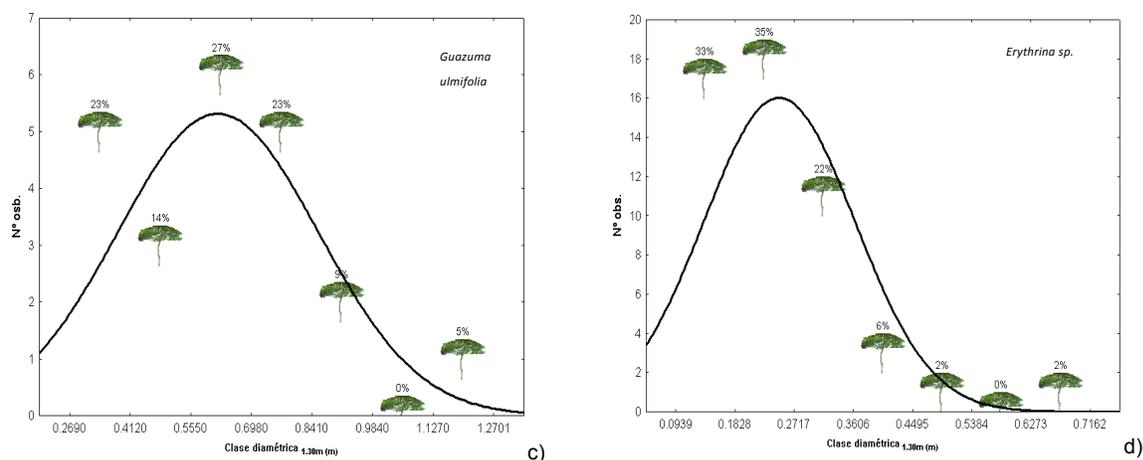


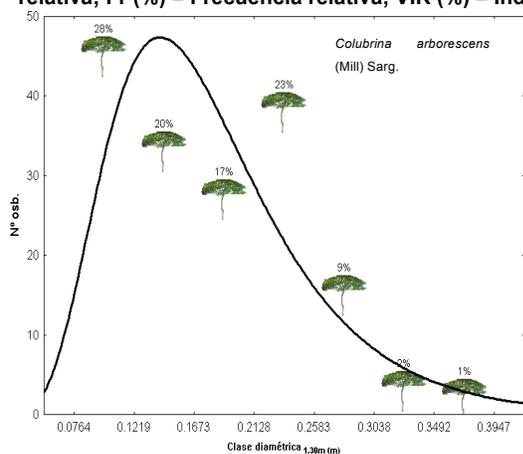
Figura 2.5. Histograma de clases diamétricas de especies estructuralmente importantes de parcelas de 30 años que se ajustan a los patrones poblaciones tipo 1 (b,) y tipo 2 (c y d).

Cuadro 2.5. Atributos estructurales de la vegetación en las plantaciones de 50 años en 10000m² en plantaciones agroforestales de cacao.

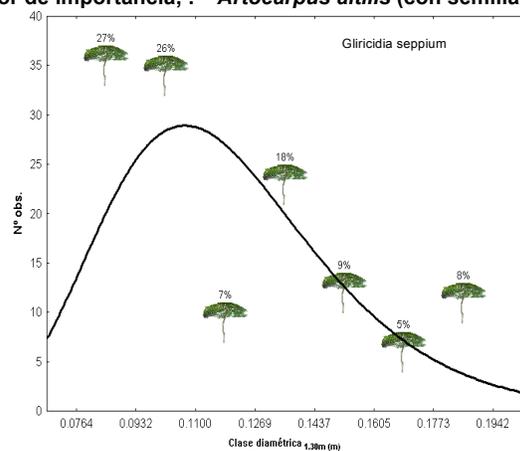
| Nombre Científico | De (ha) | Dr (%) | ABr (%) | Fr (%) | VIR (%) |
|---|---------|--------|---------|--------|---------|
| <i>Colubrina arborescens (Mill) Sarg.</i> | 163,0 | 20,0 | 12,6 | 3,7 | 12,1 |
| <i>Musa sp.</i> | 130,0 | 16,0 | 4,1 | 3,7 | 7,9 |
| <i>Gliricidia sepium</i> | 47,0 | 5,8 | 10,8 | 3,7 | 6,7 |
| <i>Diphysa robinoides</i> | 39,0 | 4,8 | 11,2 | 3,7 | 6,6 |
| <i>Guazuma ulmifolia</i> | 35,0 | 4,3 | 9,9 | 2,5 | 5,6 |
| <i>Cedrela odorata L</i> | 56,0 | 6,9 | 5,3 | 2,5 | 4,9 |
| <i>Erythrina sp.</i> | 44,0 | 5,4 | 4,0 | 3,7 | 4,4 |
| <i>Cecropia obtusifolia Bertol.</i> | 34,0 | 4,2 | 3,9 | 3,7 | 3,9 |
| <i>Lippia myriocephala S . E. C.</i> | 38,0 | 4,7 | 3,3 | 3,7 | 3,9 |
| <i>Persea americana Mill</i> | 21,0 | 2,6 | 4,6 | 3,7 | 3,6 |
| <i>Hampea nutricia Fryxell</i> | 38,0 | 4,7 | 1,7 | 3,7 | 3,4 |
| <i>Mangifera indica L.</i> | 14,0 | 1,7 | 4,5 | 2,5 | 2,9 |
| <i>Atthalea butyraceae</i> | 15,0 | 1,8 | 2,9 | 3,7 | 2,8 |
| <i>Tabebuia rosea Bert. DC.</i> | 16,0 | 2,0 | 0,9 | 3,7 | 2,2 |
| <i>Bursera simaruba L. Sarg.</i> | 9,0 | 1,1 | 2,9 | 2,5 | 2,2 |
| <i>Cocos nucifera L.</i> | 16,0 | 2,0 | 1,6 | 2,5 | 2,0 |
| <i>Heliocarpus donell-smithii Rose</i> | 9,0 | 1,1 | 1,0 | 3,7 | 1,9 |
| <i>Annona reticulata L.</i> | 6,0 | 0,7 | 1,2 | 3,7 | 1,9 |
| <i>Brosimum alicastrum Sw.</i> | 14,0 | 1,7 | 1,1 | 2,5 | 1,8 |
| <i>Erythrina sp.</i> | 5,0 | 0,6 | 0,6 | 3,7 | 1,6 |
| <i>Samanea saman Benth</i> | 4,0 | 0,5 | 1,5 | 2,5 | 1,5 |
| <i>Ceiba pentandra L. (Gaertn)</i> | 6,0 | 0,7 | 0,8 | 2,5 | 1,3 |
| <i>Pimenta dioica (L) Merril</i> | 5,0 | 0,6 | 0,7 | 2,5 | 1,2 |

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Swietenia macrophylla</i> Kina | 4,0 | 0,5 | 0,5 | 2,5 | 1,1 |
| <i>Inga jinicuil</i> Schl. | 3,0 | 0,4 | 0,5 | 2,5 | 1,1 |
| <i>Theobroma bicolor</i> | 2,0 | 0,2 | 0,4 | 2,5 | 1,0 |
| <i>Artocarpus altilis</i> (Parq.) Forsb. * | 2,0 | 0,2 | 1,5 | 1,2 | 1,0 |
| <i>Citrus sinensis</i> | 8,0 | 1,0 | 0,6 | 1,2 | 0,9 |
| <i>Tamarindus indica</i> L. | 2,0 | 0,2 | 1,2 | 1,2 | 0,9 |
| <i>Cestrum nocturnum</i> L. | 6,0 | 0,7 | 0,5 | 1,2 | 0,8 |
| <i>Persea schiedeana</i> Ness | 5,0 | 0,6 | 0,4 | 1,2 | 0,7 |
| <i>Annona muricata</i> L. | 5,0 | 0,6 | 0,4 | 1,2 | 0,7 |
| <i>Chrysophyllum caimito</i> L. | 1,0 | 0,1 | 0,8 | 1,2 | 0,7 |
| <i>Manilkara zapota</i> L. Y. Royen | 1,0 | 0,1 | 0,7 | 1,2 | 0,7 |
| <i>Pouteria sapota</i> (Jacq) H.E.M.E.S | 2,0 | 0,2 | 0,3 | 1,2 | 0,6 |
| <i>Couepia polyandra</i> (H.B. K.) Rose | 3,0 | 0,4 | 0,2 | 1,2 | 0,6 |
| <i>Cordia stellifera</i> I. M. Johnstons | 1,0 | 0,1 | 0,4 | 1,2 | 0,6 |
| <i>Carica papaya</i> L. | 2,0 | 0,2 | 0,0 | 1,2 | 0,5 |
| <i>Spathodea campanulata</i> Beauvois | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 0,5 |
| <i>Roystonea regia</i> (H.B.K.) Cook | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 0,5 |
| <i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl. | 1,0 | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 0,5 |
| Σ | 814,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Da(ha) = Densidad de individuos por hectárea; Dr (%) = Densidad relativa de individuos; ABr (%) = Área basal relativa; Fr (%) = Frecuencia relativa; VIR (%) = Índice de valor de importancia; . * *Artocarpus altilis* (con semilla).



a)



b)

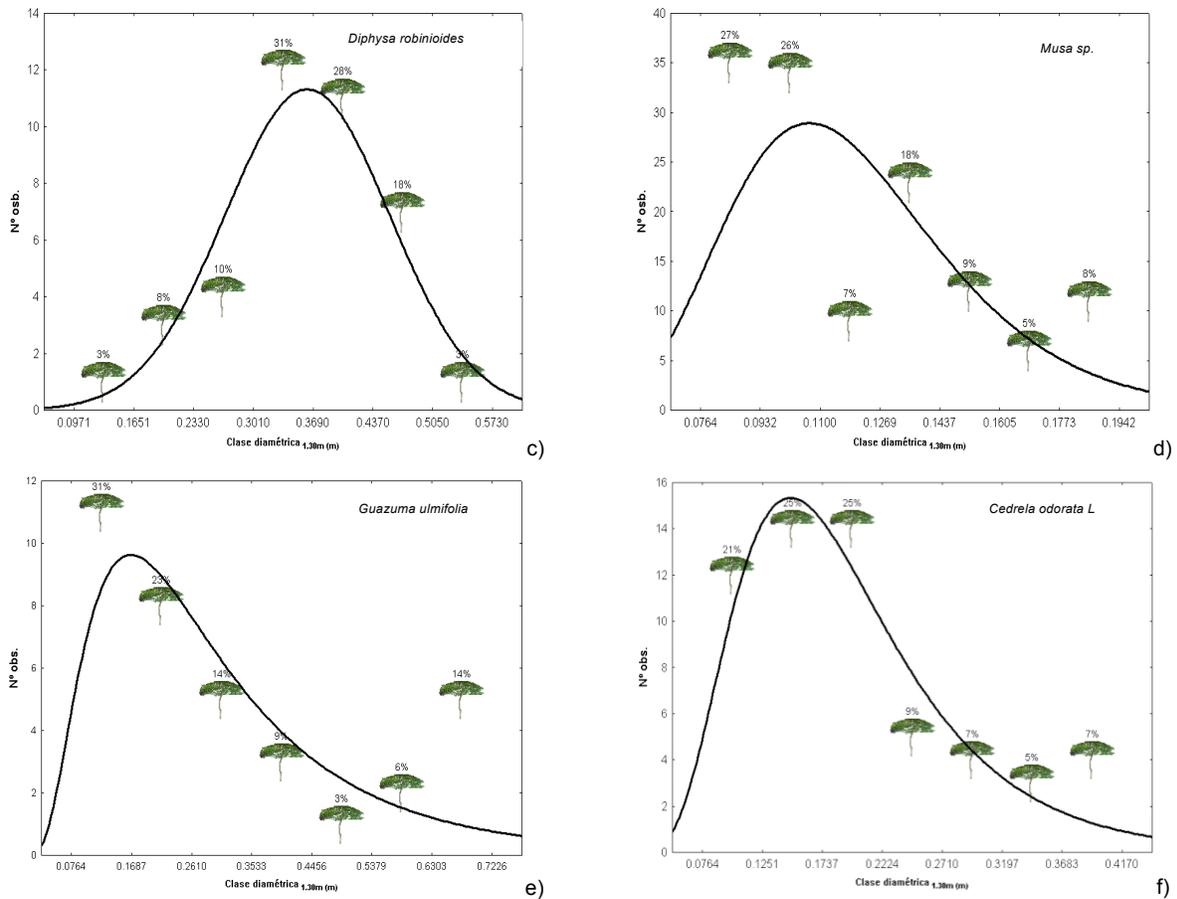


Figura 2.6. Histograma de clases diamétricas de especies estructuralmente importantes de parcelas de 30 años que se ajustan a los patrones poblaciones tipo 1 (c) y tipo 2 (a, b, d, e y f).

En la (Figura 2.7), se agruparon las alturas de todos los individuos con $Dap_{1.30m} > 7.5cm$; en el estrato superior (de más de 20 m) sobresalen *Samanea saman* y *Mangifera indica* en las parcelas de 30 años y *Guazuma ulmifolia*, *Artocarpus altilis*** , *Gliricidia seppium* y *Colubrina arborescens* en las de 50 años.

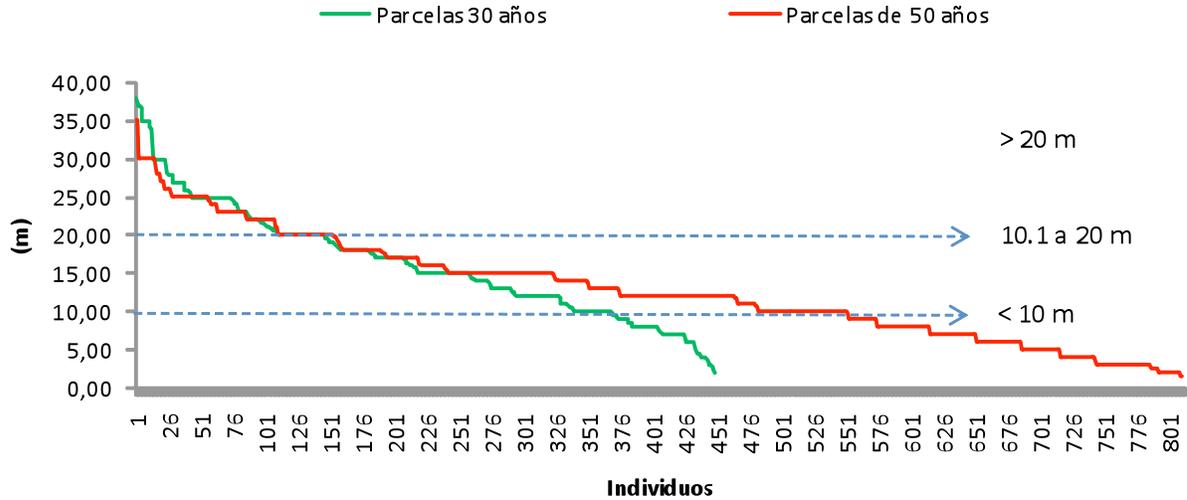


Figura 2.7. Alturas de los individuos mayores a Dap > 7.5 cm, para las parcelas de 30 y 50 años.

2.3.5. Usos comunes de la comunidad vegetal arbórea en cacaotales de 30 y 50 años

En el Cuadro 2.6 se en listan los diferentes usos, con sus respectivos acrónimos, de las especies registradas en las parcelas estudiadas. Las Figuras 2.8 y 2.9 integran la información de los diversos usos de la vegetación arbórea que coexiste en los cacaotales de 30 y 50 años de edad, en la imagen se visualizan 11 colores que representan los usos registrados, dichos colores se combinan, como fracciones de un círculo que representa a cada especie, encontrándose situaciones que van desde las mono-específicas hasta las de uso múltiple. De esta manera, para las parcelas de 30 años, integradas por un total de 27 especies, se lograron identificar 13 diferentes combinaciones de usos de los árboles, de acuerdo con García (1983) y Anónimo (2007). Las tres combinaciones predominantes fueron: frutales (*Fr*), integrados por un total de 11 especies *A. altilis*, *I. jinicuil*, *C. obtusifolia*, *M. americana*, *M. indica*, *C. sinensis*, *A. altilis* con semilla y sin semilla, *C. papaya*, *T. bicolor*, *Musa sp.* y *P. sapota*; sombra típica de cacao, combustible “leña”, postes para cercos vivos, horcones para la construcción de casas y elaboración de mangos para herramientas (*St-Lñ-Up-Oc-Umh*) que agrupó a las especies *D. robinoides*, *G. sepium* y *C. arborescens* y en tercer orden, se presentó la combinación de sombra típica del cacao y combustible

“leña” (*St- Lñ*) integrado por las especie *Erythrina sp.1* y *Erythrina sp. 2* (Figura 2.8).

Para las parcelas de 50 años, con un total de 41 especies, se registraron 17 diferentes combinaciones (Figura 2.9), las más frecuentes fueron los *Fr* representados por un total de 17 especies *P. americana*, *A. reticulada*, *C. caimito*, *A. altilis*, *P. schiedeana*, *I. jinicuil*, *A. muricata*, *C. obtusifolia*, *M. indica*, *C. sinensis*, *C. papaya*, *T. bicolor*, *P. dioica*, *Musa sp.*, *T. indica*, *C. poliandra*, *P. sapota*; seguido del grupo de especies bajo uso múltiple *St-Lñ-Up-Oc-Umh* que agrupo a las especies de *D. robinoides*, *G. seppium* y *C. arborescens* y en tercer orden, se presentó la sombra típica del cacao y combustible “leña” (*St- Lñ*) integrado por las especie *Erythrina sp.1* y *Erythrina sp. 2*.

Cuadro 2.6. Lista de usos la vegetación arbórea coexistente en la parcelas de estudio

| Acrónimo | Usos |
|----------|---|
| MD | Medicinal |
| Mr | Madera aserrada |
| Oc | Horcones para casas |
| Up | Postes para cercas |
| Umh | Elaboración de mangos para herramientas |
| Fr | Frutal |
| Ind | Industrial |
| St | Sombra típica del cacao |
| Lñ | Combustible Leña |
| Asg | Árboles de sombra para la ganadería |
| Or | Ornamental |
| Fo | Forraje |
| Tc | Construcción de techos p/casas rurales |

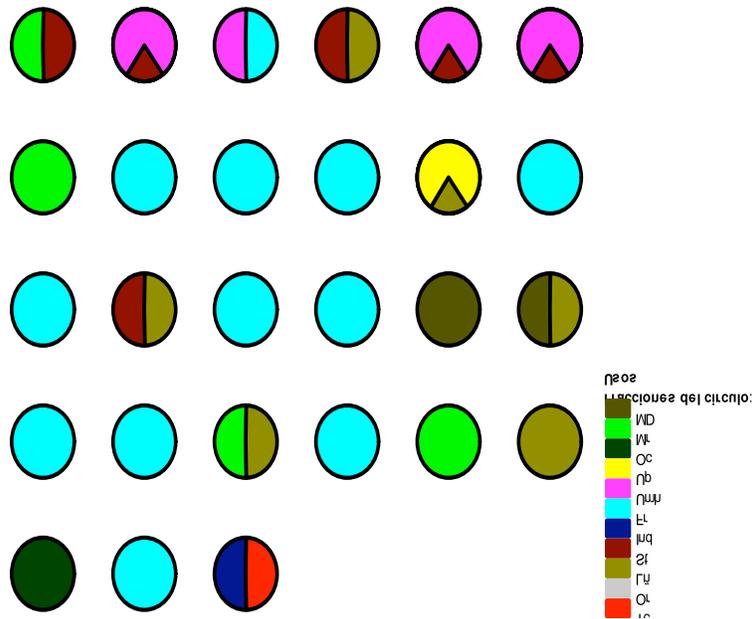


Figura 2.8. Análisis multidimensional de usos comunes de la comunidad vegetal arbórea que integra las parcelas de 30 años.

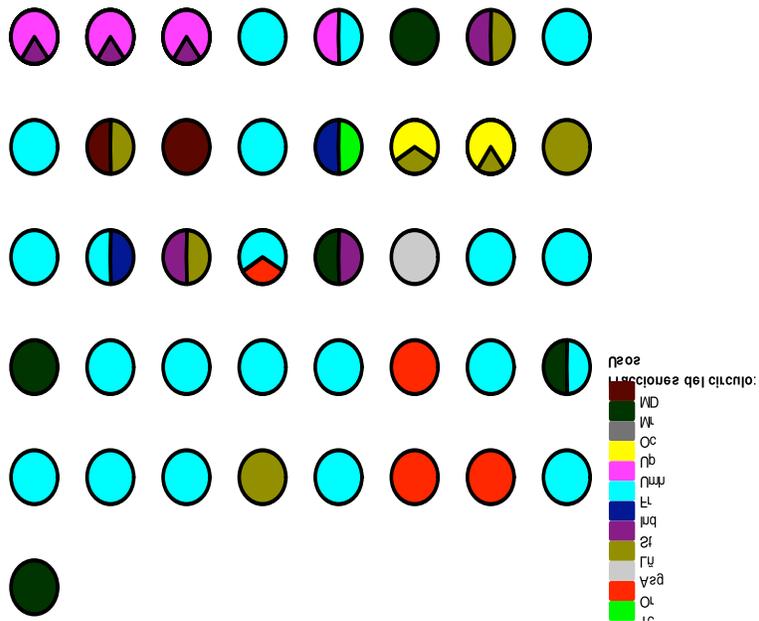


Figura 2.9. Análisis multidimensional de usos comunes de la comunidad vegetal arbórea que integra a parcela de 50 años.

En el (Cuadro 2.7), se presenta el análisis de diversidad del uso de las especies en conjunto por edad de las parcelas de 30 y 50 años, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (base logarítmica natural) (H'), alcanzo su valor máximo en las

plantaciones de 50 años ($H' = 2.03$) en tanto que para las de 30 años y ($H' = 1.66$). La prueba de (t es t $p < 0.01$), indica diferencia altamente significativa, lo que permite la siguiente inferencia, las de 50 años resultan ser las de mayor diversidad en usos. Los valores de E' , indican mayor uniformidad en las parcelas de 50 años lo que significa un mayor equilibrio en número de individuos por usos con respecto a las de parcelas de 30 años.

Cuadro 2.7. Análisis de la diversidad de usos de especies arbóreas por edad 30 y 50 años en plantaciones agroforestales de cacao, para este análisis solo se considero a árboles con un $Dap_{1.30m} > 7.5$ cm.

| Parámetros | Usos | |
|---------------------------------|---------|---------|
| | 30 | 50 |
| H' | 1.66 | 2.03 |
| E | 0.65 | 0.72 |
| Var H' | 0.00219 | 0.00155 |
| Nº de individuos | 450 | 814 |
| Usos | 13 | 17 |
| Valores de $t_{0.05}$ tabulados | 1.96 | |
| Valores de $t_{0.01}$ tabulados | 2.56 | |
| Valores de t calculados | 6.066 | |
| Grados de libertad | 1028710 | |

Los resultados de usos con relación al índice de valor de importancia (VIR) (Cuadro 2.8), indican que en las parcelas de 30 años dos usos en conjunto representan al 51% del VIR, de esta manera *St-Lñ-Up-Oc-UMh* que integra a las especies *D. robinoides*, *G. seppium* y *C. arborescens* estuvieron representadas en primer orden con un valor del VIR 29.30%, seguido de los *Fr*, compuesto por las especies *A. altilis*, *I. jinicuil*, *C. obtusifolia*, *M. americana*, *M. indica*, *C. sinensis*, *A. altilis*, *C. papaya*, *T. bicolor*, *Musa sp.* y *P. sapota* que suman un 21.82% del VIR. Para las parcelas de 50 años dos usos representan al 56% de los individuos, los cuales están representados en primer orden por los *Fr* que incorporan al 30.4%, y se integran por las siguientes especies *Musa sp.*, *C. obtusifolia*, *P. americana*, *M. indica*, *A. reticulada*, *P. dioica*, *I. jinicuil*, *T. bicolor*, *A. altilis*, *T. indica*, *C. sinensis*, *C. caimito*, *P. schiedeana*, *A. muricata*, *P. sapota*, *C. polyandra*, *C. papaya* y en segundo orden *St-Lñ-Up-Oc-UMh* que constituyen al 25.42 % del VIR, compuesto por las especies *D. robinoides*, *G. seppium* y *C. arborescens*.

Cuadro 2.8. Usos de la vegetación arbórea é índice de valor de importancia en las plantaciones de 30y 50 años plantaciones agroforestales de cacao.

| N° | Usos | VIR _{30años} (%) | Usos | VIR _{50años} (%) |
|----|------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | <i>St-Lñ-Up-Oc-UMh</i> | 29.30 | Fr | 30.43 |
| 2 | <i>Fr</i> | 21.82 | St-Lñ-Up-Oc-UMh | 25.42 |
| 3 | <i>St-Mr</i> | 18.99 | Mr | 6.50 |
| 4 | <i>St-Lñ</i> | 9.28 | St-Lñ | 5.99 |
| 5 | <i>Fr-UMh</i> | 7.67 | Fr-UMh | 5.57 |
| 6 | <i>Mr</i> | 4.78 | Lñ-MD | 3.90 |
| 7 | <i>Mr-Lñ-Up-Oc-Or</i> | 2.44 | MD | 3.37 |
| 8 | <i>MD</i> | 1.49 | Tc-Ind | 2.82 |
| 9 | <i>Lñ-MD</i> | 1.47 | Lñ | 2.53 |
| 10 | <i>Mr-Lñ</i> | 0.71 | Mr-Lñ-Up-Oc-Or | 2.18 |
| 11 | <i>Lñ</i> | 0.69 | Lñ-Up-Oc | 2.16 |
| 12 | <i>Oc</i> | 0.68 | Fr-Ind | 2.02 |
| 13 | <i>Tc-Ind</i> | 0.67 | Or | 1.82 |
| 14 | | | Fr-Fo-Mr | 1.77 |
| 15 | | | St-Mr | 1.50 |
| 16 | | | ASg | 1.35 |
| 17 | | | Fr-Mr | 0.68 |

VIR_{30 años}- Índice de valor de importancia parcelas de 30 años; - VIR_{50 años}- Índice de valor de importancia parcelas de 50 años.

2.4. DISCUSIÓN

2.4.1. Composición

El sistema agroforestal cacao es de vital importancia, no sólo para el estado de Tabasco, ya que constituye un importante centro de conservación de una gran diversidad de especies cuya utilidad va más allá del aspecto forestal o de provisión de sombra. En la presente investigación se contabilizó un total de 1741 individuos en seis parcelas que cubren una superficie de seis hectáreas en el Ejido Miguel Hidalgo 2da Sección, las cuales pertenecen a 49 especies representativas de los agroecosistemas en estudio, 45 géneros y 25 familias botánicas, de las cuales las más sobresalientes fueron Leguminosae y Rhamnaceae, resultados similares han sido reportados en el sureste de México, en Comalcalco, Tabasco por Ramos (2001), y en el Soconusco, Chiapas por Salgado (2007), en ambos casos las leguminosas representaron el grupo más diversificado, en tanto que para América Central (Costa Rica) la familia con mayor representatividad en ambientes

agroforestales de cacao ha sido Moraceae (Guiracocha 2000), al igual que para América del Sur (Bahías del Brasil), Cassano *et al.* (2009) y Rosa Sambuichi y Hari (2007), los últimos autores consideraron que ello se debe a la abundancia del género *Ficus* en dichos sistemas; de igual forma, Hervé y Vidal (2008) reportan en estudios desarrollados en África a la familia Moraceae como la más representada en estos ambientes; otra situación fue reportada por Oke y Odebiyi (2007) en Nigeria, donde revelan que la familia Palmae es la mejor representada. De cualquier forma, en cada uno de los casos anteriores se confirma la importancia de los paisajes cacaoteros como centros de conservación de germoplasma así como sistemas de producción que, de desaparecer, podrían colocar en riesgo a especies nativas, por lo que es necesario tomar a tiempo medidas de gestión de la biodiversidad, tal como se ha hecho en los ambientes “cabruacas” (cacaotales) de Brasil (Cassano *et al.* 2009 y Rosa Sambuichi y Hari, 2007).

2.4.2. Diversidad, uniformidad y similitud

La edad ó tipo de gestión (intensidad) en los ambientes agroforestales de cacao son aspectos que, en general, se relacionan negativamente con la biodiversidad, en este caso la comparación florística de las fincas de cacao reveló que las parcelas de mayor edad (50 años) presentan una mayor biodiversidad a nivel de especies según los datos obtenidos a través del Índice de diversidad de Shannon ($H'=2.89$) en contraste con lo observado en las fincas más jóvenes ($H'=2.57$), dichos valores son estadísticamente distintos con una significancia $p<0.01$, lo que contrasta con los resultados de Ramos (2001) quien, en su estudio realizado en fincas de cacao de 15, 20 y 30 años consideró que el gradiente por edad de la flora tendía a ser menor en número de especies en las fincas de mayor edad ($H'=1.24$, 1.75 y 1.46, respectivamente), lo que tal vez se deba al historial de las plantaciones de cacao en los sitios estudiados, es decir, habría que considerar el uso del suelo antes de plantar el cacao en las parcelas de menor edad o si en las más viejas se habían talado algunos árboles maderables de uso común. Hervé y Vidal (2008) relacionan la biodiversidad vegetal y la estructura arbórea en fincas cacaoteras en el Sur de Camerún demostrando que el impacto sobre la diversidad

vegetal en cinco tipos de sistemas aumenta con la intensidad del manejo y viceversa; de esta forma, a medida que se intensifica el manejo la diversidad florística muestra una tendencia a disminuir, resultados que concuerdan con los obtenidos en nuestra investigación. En la región del Soconusco en el estado de Chiapas Salgado *et al.* (2007) reportan valores del H' que van de 2.74 a 2.79, los cuales coinciden con los encontrados en nuestro estudio.

Guiracocha (2000) evaluó los beneficios y problemas que la biodiversidad presenta para los productores en tres sistemas diferentes, para el caso del bosque el índice de diversidad fue $H'=2.56$, para el sistema agroforestal cacao obtuvo $H'=1.75$ y para banano $H'=1.10$). De los tres hábitats estudiados, obviamente el bosque tiene mayor diversidad, lo que significa que existe un mayor grado de conservación de especies, le sigue el sistema agroforestal cacao que tiene mayor valor para la conservación en relación con el sistema banano, el valor de nuestro índice de diversidad fue superior y coincidimos con este autor respecto a que algunos árboles forestales, como es el caso del samán pueden estar ocasionando daños al sistema por la facilidad con que sus ramas se desprenden, cayendo y dañando o las plantas de cacao.

Los valores obtenidos con las medidas de similitud empleadas en la presente investigación muestran una clara tendencia de acercamiento en la composición botánica de las dos edades estudiadas cuando se analiza a nivel de familias, no obstante, se va notando una disimilitud cuando se avanza a nivel de género, acentuándose más a nivel de especies, de acuerdo con los índices cualitativos de Sonrenson y Jaccard. Estas medidas de similitud ya han sido reportadas en otros ambientes agroforestales de cacao por Hervé y Vidal (2008) y Zapfack *et al.* (2002) en Camerún, quienes indican que el tipo de gestión es un factor que determina un menor porcentaje de similitud, situación inherente a cada región cacaotera. Para este estudio, las prácticas productivas en las fincas de cacao en la zona se ubican aledaña a huertos de familiares, este aspecto es sobre todo relevante en las parcelas de mayor edad donde las familias productoras introducen

nuevas especies de plantas tanto nativas, como exóticas que les proveen de frutas y madera, principalmente, contrastando con las parcelas de 30 años, las cuales son dominadas por dos especies *Samanea saman* y *Diphysa robinoides* introducidas como árboles de sombra debido a apoyos del Gobierno Estatal a través de la Comisión Nacional del Cacao (CONADECA). En el caso de las parcelas más longevas, la mayor parte de las especies que integran la diversidad florística, han sido producto de regeneración natural y resiembra que el mismo productor realiza, sin duda alguna, la dispersión de semillas por aves, mamíferos y reptiles que transitan en el ecosistema desempeña un papel trascendente.

2.4.3. Estructura

A nivel estructural, las plantaciones de 30 años de edad presentaron una mayor área basal $58 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ que las de 50 años $38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, lo que se debe principalmente a una mayor densidad de árboles de *Samanea saman* y *Diphysa robinoides*, especies que fueron introducidas durante los años 80's, la primera de ellas presenta una distribución variable en cuanto a su área basal, en tanto que la segunda muestra una distribución normal, con dominancia en las clases diamétricas intermedias; no siendo éste el caso de las plantaciones de 50 años, donde cuatro de sus principales especies mantienen una mayor proporción dentro de sus primeras clases diamétricas, lo que representa una mayor regeneración natural.

2.4.4. Usos

Los sistemas agroforestales cacaoteros distribuidos en las diferentes regiones del mundo ofrecen protección a una variada flora que los productores han incorporado para su beneficio, es importante indicar la necesidad de apoyar las estrategias de conservación de los recursos bióticos nativos que en ellos se practican, ya que en la mayor parte de los casos como lo plantean Schroth y Harvey (2007) los sistemas agroforestales de cacao son ambientes que han sido sometidos a procesos que reducen su valor como hábitat, entre estos procesos destaca la sustitución de los árboles nativos con árboles frutales plantados (a menudo incluyendo especies exóticas), afortunadamente no es el caso de las plantaciones

cacaoteras abordadas en nuestra investigación. Por otra parte, nuestros resultados muestran diferencias estadística altamente significativa $p < 0.01$ entre las parcelas de las dos edades estudiadas, siendo las de mayor edad las más diversas en cuanto a usos y en las cuales las combinaciones de usos más sobresalientes fueron **FR** y **Lñ-Up-Oc-UMh**, observándose un comportamiento inverso en las parcelas de 30 años, **Lñ-Up-Oc-UMh** seguido de **FR**, lo cual podría relacionarse con la cercanía que las plantaciones de mayor edad tienen con los solares o huertos familiares de los productores, resultados similares son reportados por Hervé y Vidal (2008), quienes indican que existe una tendencia al incremento en la diversidad de plantas, y consecuentemente en usos, en las plantaciones cercanas a los huertos familiares.

2.5. CONCLUSIONES

1. Las familias de plantas mejor representadas en las parcelas de 30 años en el sistema agroforestal cacao fueron Leguminosae con 52% (262 individuos) y Rhamnaceae con 12%; en las parcelas de 50 años fueron Leguminosae con 19 % (237 individuos) y Musaceae con 18 % (222).
2. Las parcelas de 50 años presentan mayor diversidad florística respecto a las parcelas de 30 años.
3. Tanto las parcelas de 30 como las de 50 años presentaron similitud a nivel de familia, observándose una tendencia a la disimilitud desde el nivel de género, que se es más marcado a nivel de especie.
4. En las parcelas de 30 años se observó una mayor área basal en comparación con las parcelas de 50 años, debido principalmente a la presencia de individuos de *Samanea saman* que llegan a tener un área basal promedio de $7.98\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$.
5. Las principales combinaciones de usos observados en las parcelas de estudio son: **Lñ-Up-Oc-UMh** seguido de **FR** para las plantaciones de 30 años y de **FR** seguido de **Lñ-Up-Oc-UMh** para las plantaciones de 50. Existe mayor diversidad de usos en las parcelas de 50 años con respecto a las de 30 años.

2.6. BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo (2003) StatSoft Inc STATISTICA (data analysis software system) version 6. www.statsoft.com.
- Anónimo (2007). Excel. México, Tabasco, México.
- Anónimo (2008) Anuario Estadístico Tabasco 2008 Agricultura. INEGI. www.inegi.org.mx/.
- Anónimo (2009) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. www.siap.gob.mx/.
- Anónimo (2007) Ecocrop.FAO. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/about>.
- Bautista ZF (2004) Técnicas de muestreo para manejadores. México. 507pp
- Bhagwat SA, J Willis K, B Birks JJ, Whittaker RJ (2008) Agroforestry: a refuge for tropical. Trends in Ecology and Evolution. 23(5):261-7.
- Cassano CR, Schroth G, Faria D, Delabie JH, Bede L (2009) Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil. Biodiversity and Conservation. 18(3): 577-603.
- Cecilia I A, Arriaga WS, Estrada MA. (2001) Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región de la Chontalpa, Tabasco, México. Universidad y Ciencia. 17(34) 101-112.
- Clough Y, Dwi Putra D, Ramadhani I (2009) Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry. Biological Conservation. 142 (5): 1032–1041.
- Dahlquist RM, Whelan MP, Winowiecki L, Polidoro B Candela S, Harvey CA (2007) Incorporating livelihoods in biodiversity conservation: a case study of cacao agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. Biodiversity and Conservation. 16 (8), 2311-2333.
- De la Cruz A (2005) Diversidad y distribución de arañas tejedoras (Arachnida: Araneae) en el agrosistema cacao. H. Cárdenas, Tabasco, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados. 55pp

- García LJJ (1983) Los árboles utilizados como sombra de cacao (*Theobroma cacao* L) en comalcalco, Tabasco. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 76pp
- Greenberg R, Bichier P, Cruz A (2000) The conservation value for birds of cacao plantations with diverse planted shade in Tabasco, Mexico. *Animal Conservation*. 3 (2): 105–112.
- Guiracocha FG. (2000) Conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales cacaoteros y bananeros de talamanca, Costa Rica. Costa Rica, Turrialba: CATIE.
- Hervé BD, Vidal S (2008) Plant biodiversity and vegetation structure in traditional cocoa forest gardens in southern Cameroon under different. *Biodiversity and Conservation*. 17 (8), 1821-1835.
- Lot A, F Chiang (1986) Manual de Herbario. 1a ed. Consejo Nacional de la Flora de México. A. C. México. 142 pp
- Magurran EA (1988) Diversidad ecológica y su medición (1 ed.). (A. M. Cirer, Trad.) Barcelona, España: Vedral. 200pp
- Méndez VE, Gliessman SR, Gilbert GS (2007) Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. *Environment*, Volume 119 (1-2), 145-159.
- Motamayor JC, Risterucci A Lopez P, Ortiz C, Moreno A, Lanaud C (2002) Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Nature*. 89 (5): 380–386.
- Núñez-Bojorquez R (1982) Diversidad y dominancia de explotación de un alimento proteico por las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L). H. Cárdenas, Tabasco, Tabasco, México: Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT).
- Oke D, Odebiyi K (2007) Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (122), 305–311.

- Pérez De C M (2008) Diversidad y abundancia de escolitidos (Coleoptera: scolytidae) asociados al agroecosistema cacao en Tabasco, México. Montecillo, Texcoco, Edo. México: Colegio de Postgraduados. 72pp
- Ramos-RR (2001) Analisis Sustentable de los suelos con plantaciones de cacao (Theobroma cacao L) en Tabasco México aplicando sistemas de Información Geográfica. Montecillo, Edo. México: Colegio de Postgraduados. 146pp
- Rolim GS, Chiarello AG (2004) Slow death of Atlantic forest trees in cocoa agroforestry in southeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation*. 13 (14), 2679-2694.
- Rosa-Sambuichi RH, Hari M (2007) Recovery of species richness and conservation of native Atlantic forest trees in the cacao plantations of southern Bahia. *Biodiversity and Conservation*. 16 (13), 3681-3701.
- Salgado GS, Palma LD, Lagunes ELD, Ortiz GCF, Ascencio RJM (2005) Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de tabasco, México. 30 (7), 395-403.
- Salgado-Mora MG, Ibarra Núñez G, Macías SJE (2007) Diversidad arbórea en cacaotales del soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*. 32 (11), 763-768.
- Schroth G, Harvey CA (2007) Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. 16 (8).
- Woldemariam GT, Borsch TDM, Teketay D (2008) Floristic composition and environmental factors characterizing coffee forests in southwest Ethiopia. *Forest Ecology and Management* (255). 2138–2150.
- Zapfack L, Engwald SS, B Achoundong G, A Madong B (2002) The impact of land conversion on plant biodiversity in the forest zone of Cameroon. *Biodiversity and Conservation*. 11 (11): 2047-2061(15).

**CAPITULO III. LA MACROFAUNA EDÁFICA EN SISTEMAS
AGROFORESTALES DE CACAO, EN TABASCO, MÉXICO**

LA MACROFAUNA EDÁFICA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO DE DOS DIFERENTES EDADES.

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en seis parcelas agroforestales de cacao del Ejido Miguel Hidalgo 2da. Sección, Municipio de Cárdenas, Tabasco, México, seleccionándose tres parcelas de treinta y tres más de cincuenta años de edad. Se determinó la composición de la macrofauna edáfica analizándose la riqueza de especies, similitud, y su función ecológica durante tres épocas del año “norte, seca y lluvia”. Los resultados muestran que la macrofauna edáfica sumo un total de 299 ind.m² que se correspondieron a 8 clases y se agrupan en 13 órdenes para las de treinta y 628 Ind.m² para las de 50 años, pertenecientes a 7 clases que se agrupan en 11 órdenes, respectivamente. El índice de diversidad de Shannon-Wiener mostró diferencia estadística significativa $p < 0.05$ a nivel clase y orden en la época de norte, alcanzando el valor máximo de H' 0.93 y 0.95 respectivamente en las parcelas de 50 años siendo mas diversas que las de 30. En la época de seca en índice de Shannon-Wiener mostró diferencia estadística significativa $p < 0.05$ a nivel clase y diferencia altamente significativa $p < 0.01$ a nivel de orden, siendo las más diversas las parcelas de 30 años; en cuanto a la época de lluvia no se presentaron diferencia estadística significativa. La función ecológica predominante para ambos sistemas fue la geófaga determinada principalmente por la mayor abundancia de lombrices de tierra (65%) para las parcelas de 30 años y (75%) para las de cincuenta años; el índice de Shannon-Wiener mostró diferencia estadística significativa $p < 0.01$ a nivel de las funciones ecológicas presentándose el valor más alto en las parcelas de 30. Los índices de similitud de Jaccard (cualitativo), Sonrenson Is (cualitativo y cuantitativo) y Morista-Horn (cuantitativo), indicaron una clara tendencia a la similitud a nivel de funciones ecológicas.

Palabra clave: Macrofauna edáfica, Sistema agroforestal cacao.

THE SOIL MACROFAUNA IN TWO DIFFERENT AGES OF COCOA AGROFORESTRY SYSTEMS

This research was carried out in two cocoa agroforestry systems of 30 and 50 years old, with three replications each, in the Ejido Miguel Hidalgo 2da. Sección, Municipio de Cardenas, Tabasco, Mexico. Species diversity, species richness, species similarity, macrofauna structure and its ecological role was analyzed during three seasons of the year: dry, rainy and windy season. Results show that soil macrofauna had a total of 299 individuals per square meter, distributed in eight classes and 13 orders within the 30 years old cocoa plantation and the 50 years old had 628 individuals per square meter with 7 classes grouped in 11 orders. The Shannon-Wiener index was significant at $p < 0.05$ level for macrofauna class and order in the windy season, having a maximum value of H' 0.93 and 0.95 for the 30 and 50 years old cocoa agroforestry systems, respectively. During the dry season there were statistical differences, higher for the 30 years than the 50 years old cocoa plantations for macrofauna class at $p < 0.05$, and at $p < 0.01$ for macrofauna orders. For the rainy season there were no statistical differences. Earthworms showed predominance amongst other soil organisms within the 30 years old (65%) and for the 50 years old (70%) cocoa plantations respectively. But the Shannon-Wiener index was higher at $p < 0.01$ for the 30 years than for the 50 years old cocoa agroforestry systems. The Jaccard (qualitative), Sorensen (qualitative and quantitative) and Morishita-Horn (quantitative) indexes showed a clear similarity trends for ecological functions.

Key words: soil macrofauna, cocoa agroforestry systems

3.1. INTRODUCCIÓN

Un factor de suma importancia dentro de los sistemas agroforestales es la diversificación de las especies de plantas que promueven una mayor diversidad en el edafón (Silva *et al.* 2006) para que los organismos edáficos, en consecuencia participen, efectivamente en el reciclaje de los nutrientes y estos sistemas presenten entonces altas densidades de biomasa.

La diversidad biológica de los suelos a través del espacio varía como consecuencia de la influencia de las características del habitat y del uso del suelo y los organismos que viven por debajo de la tierra son fundamentales para determinar el funcionamiento de los ecosistemas agrarios (Pierre *et al.* 2006).

Las interacciones que influyen en los ciclos biogeoquímicos en ambientes agroforestales son determinadas en parte por la macrofauna edáfica, razón por la que en la actualidad es un tópico de importancia global. Los graves impactos provocados por la agricultura convencional han ocasionado la ruptura de las cadenas tróficas causando impactos sustanciales a dichos ciclos (Pimentel *et al.* 1992).

Las necesidades y actividades de los seres humanos están cambiando frecuentemente los ecosistemas afectando con ello a millones de especies que llevan a cabo funciones vitales en los agroecosistemas (Pimentel *et al.* 1992).

Las comunidades de la macrofauna del suelo responden a los impactos causados por las prácticas relacionadas con la gestión de los recursos, por lo que puede ser un buen indicador para evaluar la calidad del suelo, esto ha sido demostrado en trabajos realizados por Geissen y Morales (2005), Ortiz-Ceballos *et al.* (2006), Ferreira *et al.* (2007). Numerosas especies de lombrices de tierra se han encontrado en ecosistemas naturales, las cuales tienden a desaparecer cuando éstos son deforestados (Huerta *et al.* 2005).

Durante las últimas tres décadas del siglo pasado y durante el presente decenio, la proliferación de trabajos y desarrollo de técnicas estándar para el estudio y caracterización de la composición, abundancia y funciones de la macrofauna del suelo han significado un enorme desafío a la investigación debido a su variación estacional (tiempo), longitudinal y vertical (espacio) (Couteaux y Bolger 2000). Se ha demostrado que la cantidad de especies encontradas en algunos sistemas depende en gran medida del sitio de muestreo, temporada y año (Brown 2004) y que la composición florística afecta la diversidad de la macrofauna del suelo (Tapia 2002) ya que está estrechamente relacionada con la cantidad o tipo de especies que se encuentran en el sistema (Salmona *et al.* 2006)

La diversidad, al igual que la interacción entre sus especies suele ser usada como un descriptor de la estructura de un ecosistema (Ibáñez 2002). Es importante recalcar que la extinción de especies nativas es un fenómeno que está ocurriendo.

Se han realizado en numerosas estudios en localidades por (Fragoso, 2001) indica que la macrofauna edáfica desempeñan un papel ecológico dentro de los sistemas ya que sus diferentes funciones hacen que éste se mantenga de cierta forma estable (Sileshi y Mafongoya 2006).

En el estado de Tabasco, los estudios relacionados con la macrofauna edáfica más sobresalientes han sido realizados por (Núñez 1982, Huerta *et al.* 2005) pero es necesario generar más información con la finalidad de contar con un mayor conocimiento para la planeación del manejo de la biodiversidad edáfica, por lo que la presente investigación tuvo como objeto determinar y valorar la macrofauna edáfica asociada a plantaciones agroforestales de cacao con 30 y 50 años de edad en el Ejido Miguel Hidalgo 2da sección de Cárdenas, Tabasco, México.

3.2. MATERIALES Y METODOS

3.2.1. Área de estudio

El estudio fue realizado en el Ejido Miguel Hidalgo 2da Sección del municipio de Cárdenas, Tabasco, ubicado a 14 km de la cabecera municipal, en las coordenadas 18°04'42.09" de latitud norte y 93°21'05.85" longitud oeste, por la carretera Cárdenas-Comalcalco.

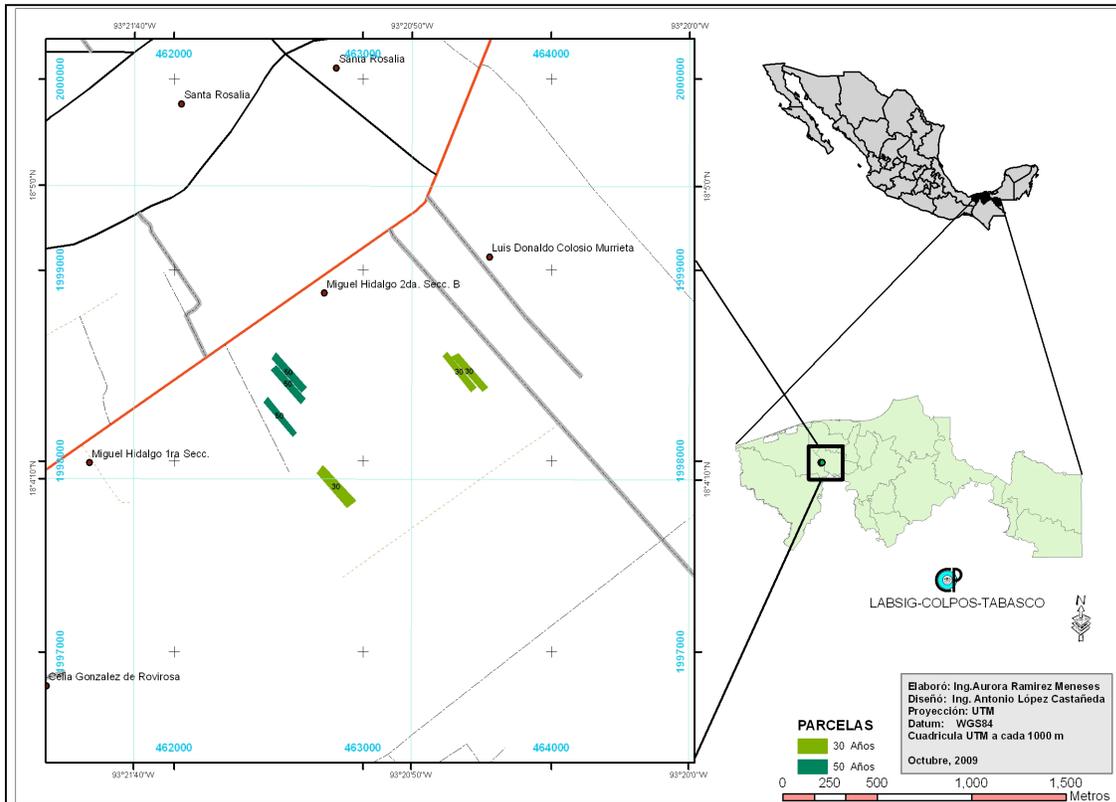


Figura 3.1. Ubicación geográfica de las parcelas en estudio

3.2.2. Clima, geomorfología y suelo del área de estudio

En la figura 3.2 se muestra la información, de acuerdo con los registros históricos de 1971 a 2000, de la estación meteorológica más cercana al área de estudio, ubicada a 2.1 km de la misma, donde se observan las variantes en la precipitación y evaporación promedio mensual durante el año. Se distinguen tres periodos bien definidos: 1. la temporada de “seca”, que comprende el periodo del 15 de marzo al 15 junio; 2. la temporada de “lluvia”, que va del 15 de junio al 15 de noviembre y 3. la temporada de “norte” que comienza el 15 de noviembre para finalizar el 15 de

marzo; así mismo es posible distinguir un periodo denominado sequia interestival, caracterizado por una clara disminución de las lluvias y que comprende el periodo que va del 15 de junio al 15 de agosto.

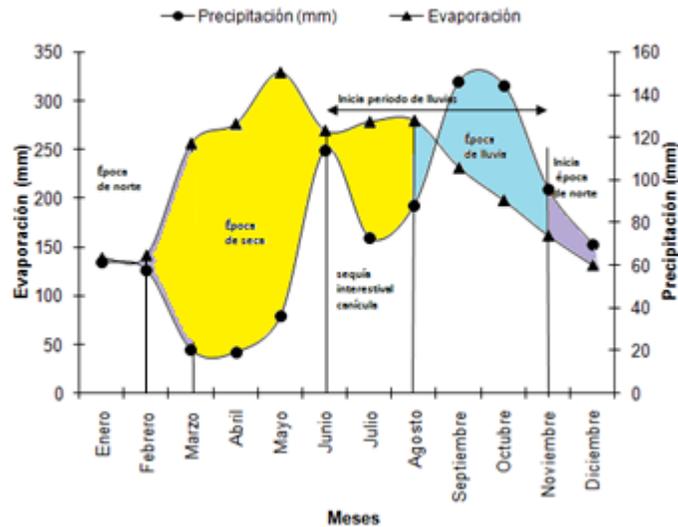


Figura 3.2. Normales de precipitación (mm) y evaporación (mm) para la zona de estudio según datos de la estación meteorológica (00027051) Tulipán, municipio de Cunduacán, Tabasco. Tomado de (www.Smn.cna.gob.mx). Elaboración autor.

En cuanto a la situación geomorfológica de la zona de estudio, está conformada por depósitos de origen aluvial que fueron formados por el antiguo cauce del Río Grijalva hoy denominado “Río Seco” corriente intermitente que en la actualidad ejerce poca o nula actividad fluvial en la zona, la influencia ejercida por el antiguo cauce provocó que de manera intermitente se depositaran sedimentos y, en consecuencia, estratificaciones por cada nuevo depósito de aluvi3n cubren al material superficial expuesto (superficie), por lo que estos suelos no llegan a evolucionar. Los porcentajes de carbono orgánico total son mayores a los 0.20% hasta los 100 cm de profundidad y, en algunos casos tienen concentraciones irregulares de carbono orgánico total (COT) a través del perfil de suelo. El porcentaje de saturación de bases supera el 50% en todo el perfil y las condiciones de gleyzación determinan que los suelos en la zona de estudio se clasifiquen como del Fluvisoles eutri-gleyicos (Salgado 2005). En la zona los suelos son muy preciados para la actividad agroforestal cacaotera practicada ya desde tiempos prehispánicos.

3.2.3. Diseño de muestreo

Se seleccionaron plantaciones de cacao de dos edades diferentes: 30 y 50 años, considerándose tres repeticiones para cada edad, cada una de las parcelas fue elegida considerando su homogeneidad (William y Marilyn 1999), y se georeferenciaron ubicando cuatro puntos de cada polígono rectangular sobre el terreno con un GPS marca Lowrance (Bautista *et al.* 2004), posteriormente se establecieron tres micrositios distribuidos aleatoriamente en cada parcela, para tener un total de 54 micrositios distribuidos en seis parcelas en las tres épocas del año; considerando 9 sitios por cada época del año (norte, seca y lluvia), los cuales fueron seleccionados en cada uno de los muestreos realizados que se hicieron considerando cada una de las épocas del año durante el periodo de estudio comprendido entre febrero y noviembre de 2008. Las fechas de muestreo se presentan en el (Cuadro 3.1), aunque la correspondiente a la época de norte tuvo un desfase de dos semanas debido a la aplicación logística en campo.

Cuadro 3.1. Época y fechas de muestreo de la macrofauna edáfica.

| Época | Fecha |
|---------------|----------------------|
| Norte | 05 marzo 2008 |
| Seca | 26 mayo 2008 |
| Lluvia | 20 Julio 2008 |

3.2.3.1. Muestreo de la macrofauna edáfica

En cada micrositio se excavó hasta una profundidad de 60 cm, posteriormente se eligió la cara orientada en dirección norte a sur y, con la ayuda de cubos metálicos con dimensiones de 25 X 25cm x 10 de altura y 25 X 25cm x 20 abiertos en los dos lados (Figura 3.3) se obtuvo un monolito que se dividió en cuatro profundidades (0 a 10cm, 10 a 20cm, 20 a 40 y 40 a 60 cm), el suelo obtenido en cada estrato se colocó en bolsas de plástico, las cuales fueron etiquetadas con el número del monolito, edad de la plantación, parcela, profundidad y época del año, posteriormente se trasladó el material al laboratorio del Campus Tabasco donde los organismos edáficos fueron extraídos del suelo y colocados en viales, manteniéndolos en una solución de alcohol al 70%; posteriormente, con ayuda de

un estereoscopio, se identificaron a nivel de los principales grupos taxonómicos (Clase y Orden).



Figura 3.3. Diseño de cubos metálicos utilizados para la extracción de la macrofauna edáfica

3.2.4. Composición y funciones ecológicas de la macrofauna edáfica

3.2.4.1. Composición

Para conocer la composición de la macrofauna edáfica se elaboró una base de datos en donde se enlistaron todos los individuos encontrados por parcelas, grupos taxonómicos, nombre común y ubicación geográfica de las parcelas. Así mismo se separaron los grupos taxonómicos de acuerdo a sus principales funciones ecológicas (Brown *et al.* 2001). Toda la información obtenida fue integrada para cada edad estudiada en las plantaciones a nivel de clase y de orden para posteriormente elaborar un listado para cada edad.

3.2.5. Análisis de diversidad, uniformidad y similitud en las plantaciones de cacao de parcelas de treinta y cincuenta años

Para el análisis de la diversidad de las parcelas estudiadas se utilizaron los siguientes índices:

3.2.5.1. Índices de diversidad de Shannon-Wiener (H')

El análisis está basado en la abundancia proporcional de especies, que representa la riqueza de especies presentes en un área determinada. Para su aplicación se construyó una base de datos utilizando el paquete Excel (2007), agrupándose según la cantidad de individuos por clases y orden, creándose una tabla con dos columnas, una para número de clase u orden y la otra para número de individuos, donde quedó registrado el total de los grupos taxonómicos y de individuos de las tres parcelas de 30 y las tres de 50 años de edad, una vez integrada información

se realizaron los cálculos de estimación, número total de individuos por metro cuadrado (Ind.m²) por monolito y profundidad mediante el uso de la siguiente ecuación (3.1).

$$ind.m^2 = \frac{\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n m_1 p_1 sp_1 + \dots + m_n p_n sp_n}{mp}}{A = l^2}$$

Ecuación (3.1)

Donde \bar{x} , es el promedio de invertebrados determinados por profundidad para una especie (*sp*); m_1 es igual, monolito, p_1 es igual a la profundidad correspondiente y mp es igual al número de monolitos realizados a la profundidad correspondiente. A es igual al área del cubo metálico usado para la extracción de la macrofauna edáfica. Los resultados de valores medios de Ind.m² de cada especie por edad se integraron para realizar el análisis de índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') mediante la ecuación (3.2):

$$H' = - \sum \rho_i (\ln \rho_i)$$

Ecuación (3.2)

donde $\sum \rho_i$ es igual a la abundancia proporcional de la i -ésimo grupo taxonómico, es $\left(\frac{n_i}{N}\right)$.

Se estimó la varianza de la diversidad de las dos poblaciones en estudio aplicando la ecuación (3.3).

$$var H' = \left(\frac{(\sum \rho_i (\ln \rho_i)^2) - (\sum \rho_i \ln \rho_i)^2}{N} \right) - \left(\frac{S-1}{2N^2} \right)$$

Ecuación (3.3)

Donde S es el número de grupos taxonómicos y N es el número total de individuos.

Para comparar la diversidad de las dos poblaciones se utilizó la ecuación (3.4).

$$t = \left(\frac{H_1' - H_2'}{(\text{var } H_1' + \text{var } H_2')^{1/2}} \right)$$

Ecuación (3.4)

donde H_1' y H_2' es la diversidad de la población 1 y 2 y $\text{var } H_1'$ y H_2' su varianza.

Para calcular los grados de libertad se utilizó la ecuación (3.5).

$$df = \left[\frac{(\text{var } H_1' + \text{var } H_2')^2}{\left[\frac{\text{var } H_1'}{N_1} \right] + \left[\frac{\text{var } H_2'}{N_2} \right]} \right] \quad \text{Ecuación (3.5)}$$

donde N1 y N2 es el número de individuos en las poblaciones 1 y 2.

Posteriormente se comparó el valor obtenido de la ecuación (3.5) con el valor de la prueba t tes al (p<0.05 y 0.01) (Magurran 1989).

3.2.5.2. Índices de Uniformidad y de similitud

Índice de uniformidad

Se realizó el análisis del índice de uniformidad de Shannon (E') que nos muestra la abundancia relativa a nivel de clase y orden y que representa la equidad o uniformidad, indicando el grado en el que los individuos de diferentes grupos taxonómicos son similares, ecuación (3.6).

$$E = H' / \ln S \quad \text{Ecuación (3.6)}$$

donde H' es el índice de Shannon y ln es el logaritmo natural del número de clases.

Índices de similitud

El análisis de similitud entre las dos poblaciones agroforestales de cacao de 30 y 50 años, se realizo mediante las medida de Jaccard para datos cualitativos, Sorenson para datos cualitativos, Sorenson modificada por Bray y Curtis para datos cuantitativos y Morisita-Horn para datos cuantitativos, que tienden a ser igual a uno en caso de similaridad completa e igual a cero si las poblaciones son disimilares y no tienen especies en común, obtenida mediante la siguientes ecuaciones (Cuadro 3.2) (Magurran 1989).

Cuadro 3.2. Medidas de similaridad realizadas en el estudio

| Medida de similitud | Ecuación |
|------------------------|--|
| Jaccard (cualitativo) | $C_j = \frac{j}{(a + b + 1)} \quad \text{Ecuación (3.7)}$ <p>Donde j= número de especies comunes en ambas localidades. a= número de especies en la localidad A. b= número de especies en la localidad B.</p> |
| Sorenson (cualitativo) | $C_s = \frac{2c}{(a + b)} \quad \text{Ecuación (3.8)}$ <p>a= números de especies presentes en el sitio a.</p> |

Sorenson (cuantitativo)

b= número de especies presentes en el sitio B.
c= número de especies presentes en ambos sitios

$$C_N = 2j_N / (aN + bN) \text{ Ecuación (3.9)}$$

donde aN= número de individuos en la población A

bN= número de individuos en la localidad B

jN= suma de las abundancias de especies de la población que presenta abundancia inferior

Morisita-Horn (datos cuantitativos)

$$C_{MH} = \frac{2\sum(an_i \times bn_i)}{(da + db) \times (aN \times bN)} \text{ Ecuación (3.10)}$$

Donde aN= número de individuos en la localidad A.

bN= número de individuos en la localidad B.

ani= número de individuos de la i-esima especie en la localidad A.

bni= número de individuos de la i-esima especie en la localidad B.

$$da = \frac{\sum an_i^2}{aN^2} \quad y \quad db = \frac{\sum bn_i^2}{bN^2}$$

3.2.6. Funciones ecológicas

Para el estudio de las diferentes funciones ecológicas de la macrofauna edáfica en los cacaotales se realizó una revisión bibliografía (Brown *et al.* 2001; Fragoso 2001) relacionada con el tema, posteriormente se integró la información a la base de datos a nivel de clase construida en el programa Excel 2007 (Anónimo 2007). Luego se realizó un análisis de la diversidad de las funciones ecológicas de la macrofauna edáfica mediante los índices de diversidad y uniformidad de Shannon (H' y E') y su posterior valoración a partir de la prueba t *test* al p <0.05 y p<0.01 a fin de determinar la diferencia entre las parcelas con edad de 30 años vs 50 años y finalmente, determinar la similitud entre ambas edades a partir de los índices de Jaccard (cualitativo), Sorenson (cualitativo ycuantitativo) y Morisita-Horn (datos cuantitativos) (Magurran 1989).

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Composición de la macrofauna edáfica

Se identificó un total de 299 ind.m² pertenecientes a 8 clases que se agruparon en 13 órdenes para las parcelas de 30 años y 628 para las de 50 años, pertenecientes a 7 clases que se agrupan en 11 órdenes, respectivamente.

Las clases mejor representadas en la parcelas de 30 años fueron: Oligochaeta 61% (183 ind.m²), Insecta 32% (96 ind.m²) y Arachnida 2% (7 ind.m²) (Figura 3.4a). Para el caso de las parcelas de 50 años las clases mejor representadas fueron: Oligochaeta 75% (473 ind.m²), Insecta 16% (98 Ind.m²) y Arachnida 4% (25 Ind.m²) (Figura 3.4b).

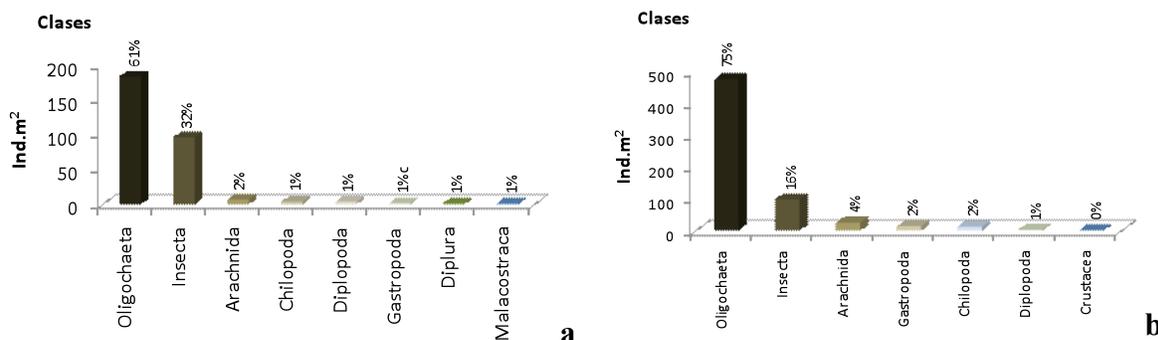


Figura 3.4. Clases con mayor número de individuos registrados en las parcelas de 30 (a) y 50 años (b).

Los órdenes mejor representados en las parcelas de 30 años fueron: Sp1 61% (183 Ind.m²), Hymenoptera 15% (46 Ind.m²) y Coleoptera 13% (37 Ind.m²) (Figura 3.5a) y para el caso las parcelas de 50 años los órdenes mejor representados fueron Sp1 75% (473 Ind.m²), Hymenoptera 9% (57 Ind.m²) y Coleoptera 5% (34 Ind.m²) (Figura 3.5b).

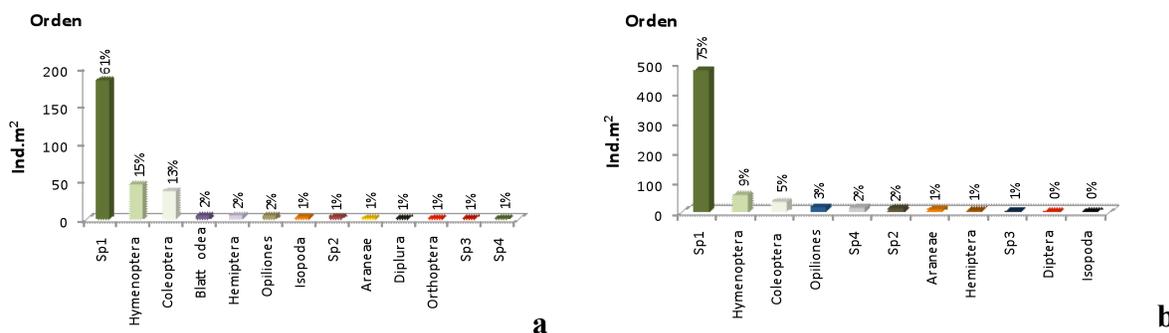


Figura 3.5. Ordenes y numero de ind.m² registrados en las parcelas de 30 años (a) y (b) para las de 50 años.

3.3.2. Riqueza de clases y órdenes de macrofauna determinados por época del año en plantaciones de 30 y 50 años bajo el sistema agroforestal cacao, en Tabasco, México.

3.3.2.1. Época de norte

En el Cuadro 3.3, se presentan los resultados del análisis de diversidad en conjunto por edad de las parcelas mediante el uso del índice de diversidad de Shannon-Wiener (base logarítmica natural) (H'), obtenidos para la época de norte. El valor máximo del análisis realizado para cada uno de los componentes a nivel de clase se alcanzó en las plantaciones de 50 años. Un valor del índice de H' 0.74, para las de 30 años y 0.93 para las de 50. La prueba de tes $t p < 0.05$, indica diferencia significativa, lo que permite inferir que las plantaciones con edad de 50 años son más diversas que las de 30 años.

A nivel de orden, los resultados indican que no existe diferencia por edad en las parcelas de estudio para la época de norte, aunque el valor máximo de H' se obtuvo en las plantaciones de 50 años. En cuanto a la uniformidad para ambos sistemas, se presenta una desigual cantidad de individuos por orden, interpretado a partir de los valores obtenidos del E (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Análisis de diversidad de la macrofauna edáfica a nivel de clase y orden en plantaciones agroforestales de cacao obtenidos en la época de norte.

| Parámetros | Clase | | Orden | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| | 30 | 50 | 30 | 50 |
| H' | 0,74 | 0,93 | 0,95 | 1,16 |
| E | 0,53 | 0,58 | 0,53 | 0,56 |
| Var H' | 0,00442 | 0,00281 | 0,0081 | 0,0050 |
| Nº de individuos | 143 | 237 | 143 | 337 |
| Clase y Orden | 4 | 5 | 6 | 8 |
| Valores de $t_{0,05}$ tabulados | 1,96 | | 1,96 | |
| Valores de $t_{0,01}$ tabulados | 2,57 | | 2,57 | |
| Valores de t calculados | 2,219 | | 1,816 | |
| Grados de libertad | 307,836 | | 304,301 | |

Nota: H' .- Índice de diversidad de Shannon; E' .- uniformidad; Var H' .- varianza del Índice de diversidad de Shannon.

El (Cuadro 3.4), se presentan los valores obtenidos de los índices de similitud. A nivel de clase y orden, se observa que cada uno de los índices vienen marcados por una proporción a la similitud a nivel de orden, lo que indica que las parcelas están compartiendo algunos grupos a nivel de clase; no obstante a nivel de orden, los valores para cada uno de los índices reportan valores inferiores ello indica una tendencia a la disimilitud entre parcelas. Solo el índice de Morista-Horn no mostró igual sensibilidad de cálculo.

Cuadro 3.4. Índices de similitud aplicados a la diversidad de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao obtenido en la época de norte

| Índices | Clase | Orden |
|------------------------------|-------|-------|
| Jaccard (cualitativo) | 0,800 | 0,556 |
| Sonrenson Is (cualitativos) | 0,889 | 0,714 |
| Sonrenson Is (cuantitativos) | 0,753 | 0,632 |
| Morista-Horn (cuantitativo) | 0,989 | 0,925 |

Las Figuras 3.6 y 3.7 presentan el perfil de distribución de la macrofauna edáfica colectada en la época de norte para las parcelas de 30 y 50 años. En ambos ambientes el número de ind.m² decrece con la profundidad, siendo de 0-10 cm donde se recolecto el mayor numero de ind.m² 77% (231 ind.m²), para las parcelas de 30 años y para las parcelas de 50 años 84% (526 ind.m²).

La desigual proporción de individuos colectados a nivel de clase y orden, indican una proporción dominante para las parcela de edad de 30 años de la clase Oligochaeta con un 72% (103 Ind.m²) y un 63% (149 Ind.m²), respectivamente, para las de 50 años, seguido por la presencia de la clase Insecta con 24% (34 Ind.m²) para las parcelas de 30 años y un 29% (68 Ind.m²). A nivel de orden la Sp1, especie de lombriz no identificada a esté nivel taxonómico es abundante para ambos sistemas con 72% (103 ind.m²) y 63 % (149 ind.m²) para las plantaciones de 50 años, seguido del orden Díptera con un 15% (21 Ind.m²) para las de 30, y el orden Hymenoptera 21% (50 Ind.m²).

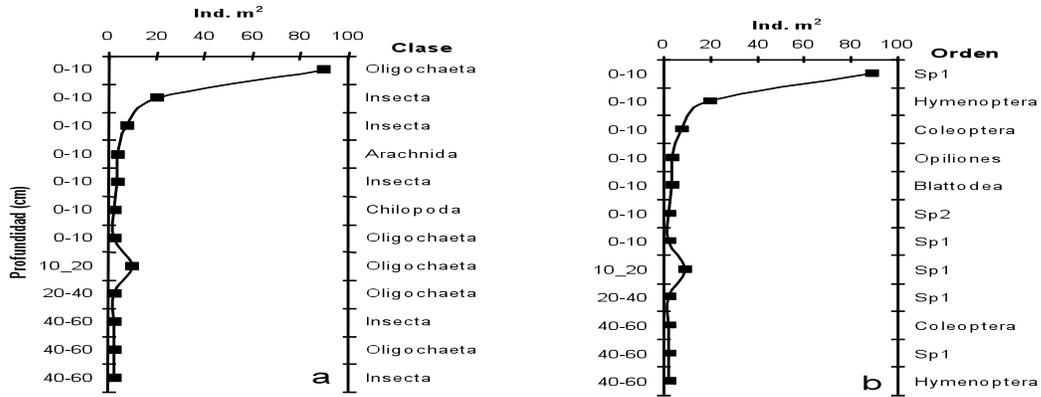


Figura 3.6. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de norte para las parcelas de 30 años (valores medios).

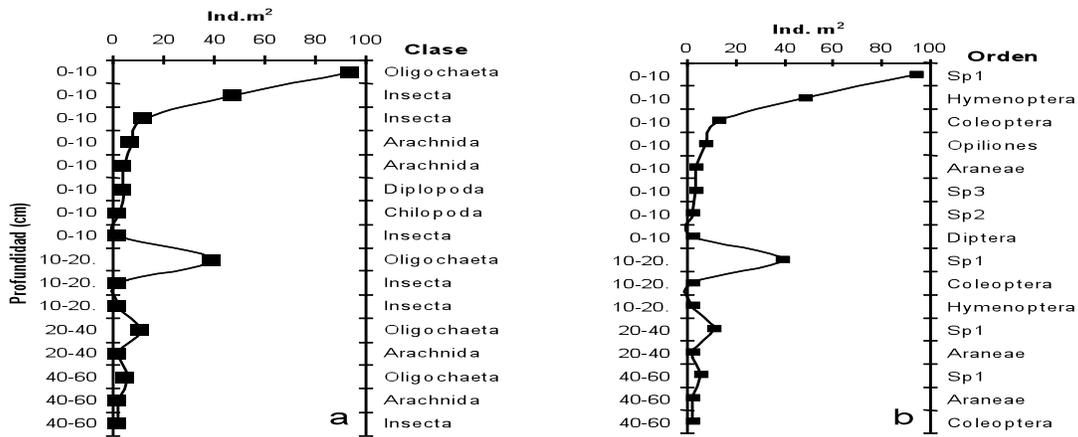


Figura 3.7. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de norte para las parcelas de 50 años (valores medios).

3.3.2.2. Época de seca

En el Cuadro 3.5, se presenta el análisis de diversidad por edad de las parcelas en estudio correspondientes a los resultados obtenidos para la época de seca. La máxima diversidad se obtuvo en las plantaciones de 30 años, el análisis realizado a nivel de clase y orden muestra diferencia estadística significativa $t p < 0.05$ de diversidad (H'). Un índice de ($H' = 0.74$) para las de 30 y ($H' = 0.93$) para las de 50 años; lo que permite inferir que las plantaciones con edad de 30 años son más diversas que las de 50 años a nivel de clase; en tanto que a nivel orden se observó diferencia altamente significativa ($p < 0.01$), obteniéndose un valor máximo en las parcelas de 30 años ($H = 1,72$). El valor de la uniformidad de Shannon-

Wiener (E), tanto a nivel de clase como de orden mostró que los valores máximos se obtuvieron en las parcelas de 30 años, aunque en general los valores son inferiores al 60%, con excepción del valor obtenido a nivel de orden en las parcelas de 30 años (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Análisis de diversidad de la macrofauna edáfica a nivel de clase y orden en plantaciones agroforestales de cacao obtenidos en la época de seca.

| Parámetros | Clases | | Orden | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 30 | 50 | 30 | 50 |
| H' | 1,2 | 1 | 1,72 | 0,98 |
| E | 0,58 | 0,55 | 0,69 | 0,5 |
| Var H' | 0,00894 | 0,01296 | 0,00984 | 0,01757 |
| Nº de individuos | 111 | 81 | 111 | 81 |
| Clase | 8 | 5 | 8 | 5 |
| Valores de $t_{0.05}$ tabulados | 1,96 | | 1,96 | |
| Valores de $t_{0.01}$ tabulados | 2,57 | | 2,57 | |
| Valores de t calculados | 2,158 | | 4,479 | |
| Grados de libertad | 171,684 | | 160,418 | |

En el Cuadro 3.6 se presentan los valores obtenidos de los índices de similitud. A nivel de clase y orden, se observa una tendencia a la disimilitud para ambos niveles taxonómicos. Solo los índices de Sonrenson Is (cualitativos) y Morista-Horn (cuantitativo), mostraron tendencia a la uniformidad.

Cuadro 3.6. Índices de similitud aplicados a la diversidad de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao obtenido en la época de seca

| Índices | Clase | Orden |
|------------------------------|-------|-------|
| Jaccard (cualitativo) | 0,625 | 0,583 |
| Sonrenson Is (cualitativos) | 0,769 | 0,737 |
| Sonrenson Is (cuantitativos) | 0,583 | 0,583 |
| Morista-Horn (cuantitativo) | 0,673 | 0,754 |

Las Figuras 3.8 y 3.9 representan el perfil de distribución de la macrofauna edáfica colectada en la época de seca para las parcelas de 30 y 50 años. En ambos ambientes el número de ind.m² decrece con la profundidad, siendo la capa de 0-10cm la que presenta el mayor número de individuos, de esta manera es

posible observar la presencia de la clase Insecta, representada por Coleoptera, conocida localmente como “gallina ciega” a una profundidad de 10-20 cm.

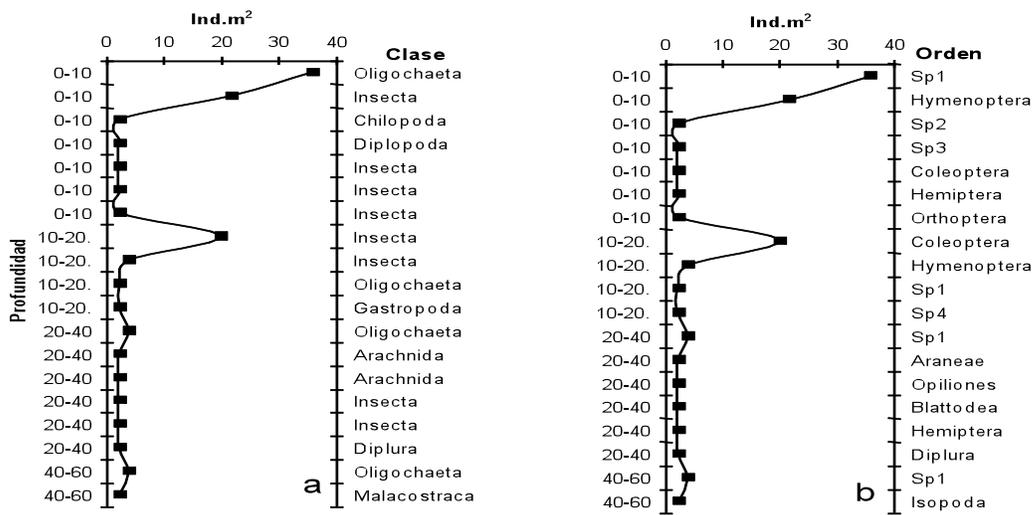


Figura 3.8. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de seca para las parcelas de 30 años (valores medios).

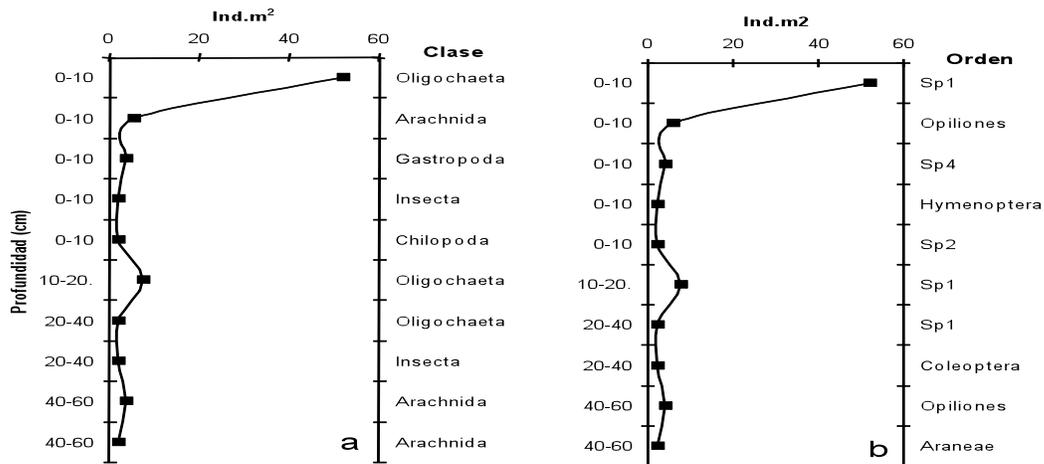


Figura 3.9. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de seca para las parcelas de 50 años (valores medios).

3.3.2.3. Época de lluvia

En el Cuadro 3.7 se presentan los resultados del análisis de diversidad por edad de las parcelas en estudio, obtenidos para la época de lluvia. La máxima diversidad se obtuvo en las plantaciones de 30 años tanto en el análisis realizado a nivel de clase como de Orden. Al aplicar la prueba estadística t $p < 0.05$ a la diversidad (H'), no se observó diferencia significativa. El valor de la uniformidad de

Shannon-Wiener (E), tanto a nivel de clase como de orden presentó valores máximos en las parcelas de 30 años, no obstante, se evidenció la gran desproporción de individuos en ambos niveles taxonómicos.

Cuadro 3.7. Análisis de diversidad de la macrofauna edáfica a nivel de clase y orden en plantaciones agroforestales de cacao obtenidos en la época de lluvia.

| Parámetros | Clase | | Orden | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 30 | 50 | 30 | 50 |
| H' | 0,66 | 0,61 | 0,76 | 0,68 |
| E | 0,60 | 0,38 | 0,55 | 0,35 |
| Var H' | 0,01196 | 0,00349 | 0,01818 | 0,00476 |
| Nº de individuos | 47 | 312 | 47 | 311 |
| Clase | 3 | 5 | 4 | 7 |
| Valores de $t_{0,05}$ tabulados | 1,96 | | 1,96 | |
| Valores de $t_{0,01}$ tabulados | 2,57 | | 2,57 | |
| Valores de t calculados | 0,376 | | 0,503 | |
| Grados de libertad | 77,486 | | 74,049 | |

El Cuadro 3.8 muestra los valores obtenidos de los índices de similitud. A nivel de clase y orden, se observa una tendencia a la disimilitud para ambos niveles taxonómicos. Solo el índice de Morista-Horn (cuantitativo), mostró tendencia a la uniformidad.

Cuadro 3.8. Índices de similitud aplicados a la diversidad de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao obtenido en la época de

| Índices | Clase | Orden |
|-----------------------------|-------|-------|
| Jaccard (cualitativo) | 0,333 | 0,571 |
| Sorenson Is (cualitativos) | 0,500 | 0,727 |
| Sorenson Is (cuantitativos) | 0,251 | 0,263 |
| Morista-Horn (cuantitativo) | 0,970 | 0,985 |

Las Figuras 3.10 y 3.11 muestran el perfil de distribución de la macrofauna edáfica colectada en la época de lluvia para las parcelas de 30 y 50 años. En las parcelas de las dos edades estudiadas el número de ind.m² decrece con la profundidad, siendo de 0-10cm donde se encontró el mayor número de individuos.

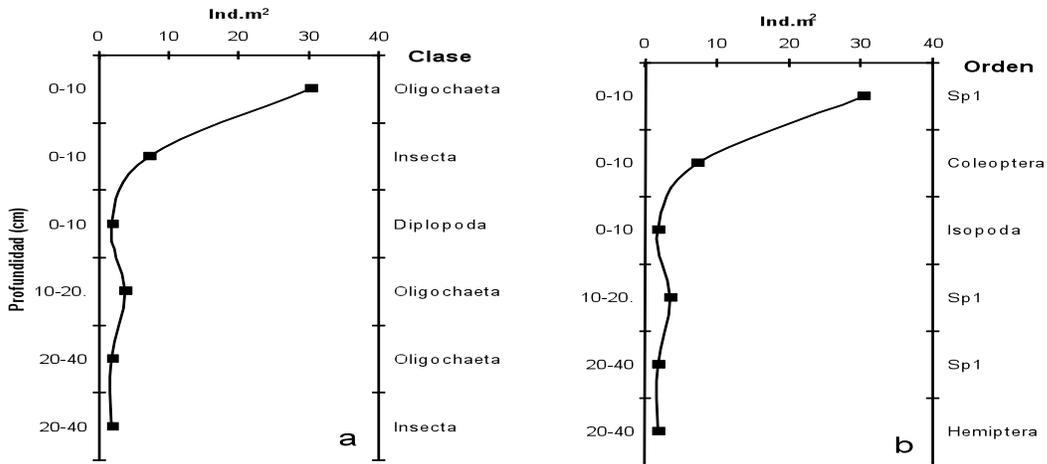


Figura 3.10. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de lluvia para las parcelas de 30 años (valores medios).

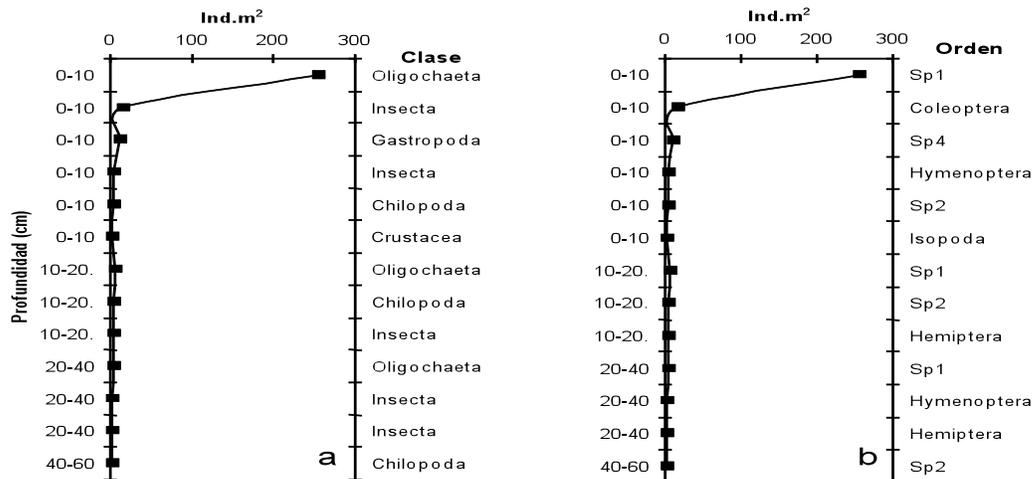


Figura 3.11. Perfil de distribución de la macrofauna edáfica en monolitos de parcelas a nivel de clase (a) y orden (b) colectados en la época de lluvia para las parcelas de 30 años (valores medios).

3.3.2. Funciones ecológicas de la macrofauna edáfica

En los Cuadros 3.9 y 3.10 se concentra la información de las funciones ecológicas de la macrofauna edáfica para las diferentes épocas del año (norte, seca y lluvia) evaluadas durante el periodo de estudio, se identificó un total de 9 funciones ecológicas para las parcelas de 30 años y 8 para las de 50. Los geófagos-detritivoro-omnívoro, función representada por lombrices de tierra, constituyen el (61%) del total de los individuos colectados para las parcelas de 30 años y el (75.3%) para las de 50 años; el segundo grupo mayoritario está representado por

los organismos de hábitos fitófago-depredador-omnívoro-nectarívoros-cultivadores de hongos, que es desempeñado por las hormigas, tanto para las parcelas de 30 (15.5%) como par las de 50 años (9,06%).

Cuadro 3.9. Funciones ecológica de la macrofauna edáfica colectada en el agroecosistemas cacao de parcelas con edad de 30 años durante el periodo de estudio.

| Época | Función ecológica | Prof. (cm) | Clase | Orden | Nombre común. |
|-----------------------|--|---------------------------|--|---|--|
| Norte, Seca y Lluvia | Depredador | 0-10, 20-40 | Arachnida, Chilopoda, Diplopoda, Diplura | Opiliones Sp2, Sp3, Araneae, Diplura, Isopoda | Araña, Cien pies, Mil pies, Doble cola, Cochinilla |
| Seca | Detritívoro | 40-60 | Malacostraca | Isópoda | Cochinilla |
| Norte y seca | Detritívoro fitófago omnívoro | 0-10, 20-40 | Insecta | Blattodea | |
| Norte y seca | Fitófago depredador omnívoro nectarívoros cultivadores de hongos | 0-10, 10-20 y 40-60 | Insecta | Himenóptera | Hormiga |
| Seca | Fitófagos detritívoro | 10-20 | Gastropoda | Sp4 | Caracol |
| Norte, Lluvia, seca y | Geófago detritívoro omnívoro | 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 | Oligochaeta | Sp1 | Lombriz |
| Norte, Lluvia, Seca y | Rizófago depredador detritívoro fitófago | 0-10, 10-20, 40-60, | Insecta | Coleóptera | Escarabajo |
| Seca y Lluvia | Rizófago | 0-10, 20-40, 20-40 | Insecta | Hemíptera | Cigarras |
| Seca | Rizófagos y fitófagos | 0-10 | Insecta | Ortóptera | Grillos |

Cuadro 3.10. Funciones ecológica de la macrofauna edáfica colectada en el agroecosistemas cacao de parcelas con edad de 50 años durante el periodo de estudio.

| Época | Función ecológica | Prof. (cm) | Clase | Orden | Nombre común |
|----------------------|--|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Norte, Seca y Lluvia | Depredador | 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 | Arachnida, Chilopoda Diplopoda | Araneae, Opiliones, Sp2, Sp3, | Araña, Cien pies, Mil pies |
| Lluvia | Detritívoro | 0-10 | Malacostraca | Isópoda | Cochinilla |
| Norte | Detritívoros depredadores parásitos | 0-10 | Insecta | Diptera | Mosca |
| Norte, Seca y Lluvia | Fitófago depredador omnívoro nectarívoros cultivadores de hongos | 0-10, 10-20 y 20-40 | Insecta | Himenóptera | Hormiga |
| Seca y Lluvia | Fitófagos detritívoro | 0-10 | Gastropoda | Sp4 | Caracol |
| Norte, Seca y Lluvia | Geófago detritívoro omnívoro | 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 | Oligochaeta | Sp1 | Lombriz |
| Norte, Seca y Lluvia | Rizófago depredador detritívoro fitófago | 0-10, 10-20, 20-40 y 40-60 | Insecta | Coleóptera | Gallina ciega |
| Lluvia | Rizófago | 10-20, 20-40 y 40-60 | Insecta | Hemíptera | Cigarras |

3.3.3. Análisis de la diversidad de Funciones ecológicas para la macrofauna edáfica.

En el Cuadro 3.11 se presenta el análisis de diversidad de funciones ecológicas de la macrofauna edáfica en conjunto por edad de las parcelas de 30 y 50 años, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (base logarítmica natural) (H'), alcanzó su valor máximo en las plantaciones de 30 años ($H' = 1.24$) en tanto que para las de 50 tuvo un valor de $H' = 0.93$. La prueba de t ($p < 0.01$) muestra diferencia altamente significativa, lo que permite hacer la siguiente inferencia, las parcelas de 30 años resultan ser las de mayor diversidad en funciones ecológicas. No obstante

los valores de E' uniformidad, presentan valores por debajo del 0.6 tanto para las parcelas de 30 y 50 años, lo que significa una desproporción de individuos mayor por función ecológica, lo que implica el predominio de una función ecológica siendo este el caso la ejercida por las lombrices de tierra que representan el (65 %) para las parcela de 30 años y (75 %) para las de 50 años del total de los organismos colectados para ambos ambientes.

Cuadro 3.11. Análisis de la diversidad de funciones ecológicas de la macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en parcelas con edad de 30 y 50 años.

| Parámetros | 30 | 50 |
|---------------------------------|---------|---------|
| H` | 1,24 | 0,93 |
| E | 0,57 | 0,45 |
| Var H` | 0,00403 | 0,00224 |
| Nº de individuos | 298 | 628 |
| Funciones ecológicas | 9 | 8 |
| Valores de $t_{0.05}$ tabulados | | 1,96 |
| Valores de t 0.01 tabulados | | 2,57 |
| Valores de t calculados | | 3,897 |
| Grados de libertad | | 629,427 |

El Cuadro 3.12 se presentan los valores obtenidos de los índices de similitud utilizados en el análisis de la información. A nivel de las funciones ecológicas de la macrofauna edáfica se observa una tendencia a la similitud, lo que indica que las parcelas están compartiendo algunas funciones; el índice cuantitativo de Sonrenson y el cualitativo de Jaccard indican más bien una tendencia a la disimilitud.

Cuadro 3.12. Medidas de similitud de la diversidad de funciones ecológicas en plantaciones agroforestales de cacao en parcelas con edad de 30 y 50 años.

| Índices | Valor |
|------------------------------|-------|
| Jaccard (cualitativo) | 0,700 |
| Sonrenson Is (cualitativos) | 0,824 |
| Sonrenson Is (cuantitativos) | 0,622 |
| Morista-Horn (cuantitativo) | 0,971 |

3.4. DISCUSIÓN

3.4.1. Composición

La importancia del estudio de los organismos del suelo reside en promover su conservación y manejo dentro de los agroecosistemas. Un total de 299 ind. m² se contabilizaron en las parcelas de 30 años y 628 ind.m² en las de 50 años. Cabe recalcar que en estudios realizados por Huerta *et al.* (2005) sobre la diversidad de lombrices de tierra en el Estado de Tabasco realizado en agroecosistemas y ecosistemas naturales y fue en este último donde se reporta el mayor número de lombrices sin embargo también hace mención que estos resultados podrían relacionarse con el dosel vegetal integrado por una mayor presencia de leguminosas. Estudios realizados por Brown *et al.* (2001) sobre la diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales de México indican que se presentó un predominio de lombrices de tierra en cuanto a biomasa no obstante en cuanto a densidad las hormigas fueron las más abundantes. Los resultados obtenidos en nuestra investigación concuerdan que los dos grupos de organismos edáficos mayoritarios que están representados en orden de importancia según número de Ind.m² por lombrices de tierra seguido de las hormigas ésta condición se presentó para cada una de las épocas de muestreo es evidente que la variación temporal y espacial influye en la estimación de la macrofauna edáfica razones que han sido ratificadas por (Brown *et al.* (2001), quienes atribuyen a que la baja eficacia del método TSBF, podría subestimar el edafón como lo es el caso de las lombrices de tierra, por otra parte la época de estiaje podría tener como consecuencia que especies de lombrices inmigren a mayor profundidad.

El rol funcional de la macrofauna edáfica presente en las parcela de estudio estuvo determinado por nueve grupos funcionales ecológicas para las parcela de 30 años y ocho grupos funcionales para las parcela de mayor edad. A nivel de grupos funcionales se presentó diferencia estadística altamente significativa $p < 0.01$.

3.5. CONCLUSIONES

1. Un total de 299 Ind.m² se contabilizaron para las parcelas de 30 años y 628 Ind.m² para las parcelas de 50 años. Se identificaron un total de 8 clases 13 órdenes para las parcelas de 30 años y 7 clases y 11 órdenes para las parcela de 50 años.
2. Las parcelas de mayor edad presentaron mayor diversidad determinado esto a partir de índice de diversidad de Shannon respecto a las parcelas de menor edad durante la época de norte. Aspecto que no sucedió en las temporadas de seca donde la mayor diversidad se presento en las parcelas de 30 años y finalmente en la época de lluvia no se presentaron diferencia estadística significativa.
3. Se identificaron un total de nueve grupos funcionales para las parcela de 30 años y ocho para las de 50.

3.6. BIBLIOGRAFÍA

Anónimo (2007). Excel (26 de Octubre de 2007). Excel . México, Tabasco, México.

Anónimo (2009) SMN. Servicio Meteorológico Nacional. www.Smn.cna.gob.mx).

Bautista ZF(Ed.). (2004) *Técnicas de muestreo para manejadores* (0 ed.). México.

Brown GG, Fragoso C, Barois L, Rojas P, Patrón JC, Bueno J, Moreno AG, Lavelle P, Ordaz V, Rodríguez C (2001) Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales Mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. Instituto de ecología A.C Xalapa, México. pp 79-68.

Brown GG, Morenob AG, Barois I, Fragoso C, Rojas P, Hernández B, Patrón JC (2004) Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 313–327.

Couteaux MM, Bolger Thomas (2000) Interactions between atmospheric CO₂ enrichment and soil fauna. *Plant and Soil* 224: 123–134.

- Fragoso C (2001) Las lombrices de tierra de México (Annelida Oligochaeta): Diversidad, Ecología y Manejo. Instituto de Ecología A.C. Acta zoológica México Número especial 1: 131-171.
- Geissen V, Morales GG (2005) Fertility of tropical soils under different land use systemsa case study of soils in Tabasco, Mexico. Applied Soil Ecology , 31 (1-2), 169-178.
- Huerta E, Rodríguez OJ, Castillo IE, Montejo ME, Mondragon CM, García HR (2005) La diversidad de lombrices de tierra (Annelidad, Ologochaeta) en el estado de Tabasco, México. Universidad y Ciencia 21 (42): 75-85.
- Ibañez MJJ, García AA (2002) Diversidad: Biodiversidad edáfica y geodiversidad. Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Madrid EDAFOLOGIA 9 (3): 329-385.
- Magurran A (1989) Diversidad ecologica y su medición (1ra. ed.). (A. M. Cirer, Trad.) Barcelona, España: VEDRA.
- Núñez BR (1982) Diversidad y dominancia de explotación de un alimento proteínico por las hormigas (Hynoptera: Formicidae) en el Cultivo del cacao (Theobroma cacao L). Cárdenas, Tabasco: Colegio Superior de Agricultura Tropical.
- Ortiz CAI, Fragoso C, Brown GG (2007) Synergistic effect of a tropical earthworm *Balanteodrilus pearsei* and velvetbean *Mucuna pruriens* var. *utilis* on maize growth and crop production. Applied Soil Ecology : 356-362 .
- Pierre RJ, Mathieub J, Cooperc M, Grimaldib M (2005) Soil macrofaunal biodiversity in Amazonian pastures: Matching sampling with patterns Soil Biology and Biochemistry Volume 38 (8): 2178-2187.
- Pimentel D, Stachow U, Takacs DA, Brubaker HW, Dumas AR, Meaney JJ, Oneil JAS, Onsi DE, Corzilius DB (1992) Conserving Biological Diversity in Agricultural. American Institute of Biological Sciences 42 (5): 354-362.
- Salgado GS, Palma LD, Lagunes ELD, Ortiz GCF, Ascencio RJM (2005) Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de tabasco, México 30 (7): 395-403.

- Salmona S, Mantela J, Frizzerab L, Zanellac A (2006) Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate. *forest ecology and management* 237 (1-3): 47-56.
- Sileshi G, Mafongoya PL (2005) Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. World Agroforestry Centre (ICRAF) Chipata, Zambia. *Soil Ecology* 33 (1): 49-60.
- Silva FR, Aquino AM, Mercante FM, Guimarães MF (2006) Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias Pesquisa Agropecuária Brasileira 41(4): 697-704.
- Tapia CS, Pashanasi B, Castillo Dennis (2002) Estudio preliminar de la macrofauna del suelo en áreas de varillales y chamizales de la amazonia Peruana *OLIA AMAZÓNICA* 13 (1-2): 65-86.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES

4.1. CONCLUSIONES GENERALES

1. Las familias de plantas mejor representadas en las parcelas de 30 años en el sistema agroforestal cacao fueron Leguminosae con 52% (262 individuos) y Rhamnaceae con 12%; en las parcelas de 50 años fueron Leguminosae con 19 % (237 individuos) y Musaceae con 18 % (222).
2. Las parcelas de 50 años presentan mayor diversidad florística respecto a las parcelas de 30 años.
3. Tanto las parcelas de 30 como las de 50 años presentaron similitud a nivel de familia, observándose una tendencia a la disimilitud desde el nivel de género, que se es más marcado a nivel de especie.
4. En las parcelas de 30 años se observó una mayor área basal en comparación con las parcelas de 50 años, debido principalmente a la presencia de individuos de *Samanea saman* que llegan a tener un área basal promedio de $7.98\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$.
5. Las principales combinaciones de usos observados en las parcelas de estudio son: *Lñ-Up-Oc-UMh* seguido de *FR* para las plantaciones de 30 años y de *FR* seguido de *Lñ-Up-Oc-UMh* para las plantaciones de 50. Existe mayor diversidad de usos en las parcelas de 50 años con respecto a las de 30 años.
6. Un total de 299 Ind.m² se contabilizaron para las parcelas de 30 años y 628 Ind.m² para las parcelas de 50 años. Se identificaron un total de 8 clases 13 ordenes para las parcelas de 30 años y 7 clases y 11 ordenes para las parcela de 50 años.
7. Las parcelas de mayor edad presentaron mayor diversidad determinado esto a partir de índice de diversidad de Shannon respecto a las parcelas de menor edad durante la época de norte. Aspecto que no sucedió en las temporadas de seca donde la mayor diversidad se presento en las parcelas de 30 años y finalmente en la época de lluvia no se presentaron diferencia estadística significativa.

8. Se identificaron un total de nueve grupos funcionales para las parcelas de 30 años y ocho para las de 50.