



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Suelos

Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible
Programa de Maestría en Ciencias de Agroforestería para el
Desarrollo Sostenible



IMPACTO DE SISTEMAS AGROFORESTALES SOBRE EL SUELO Y
POTENCIAL DE REGENERACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN
CHIAPAS, MÉXICO

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE

Presenta:

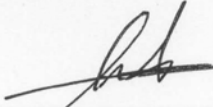
Abigail Monroy Sosa

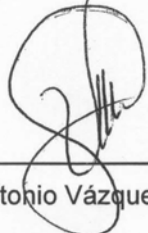
Chapingo, Edo. de México, Enero, 2009

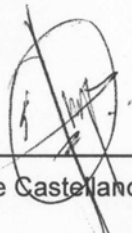


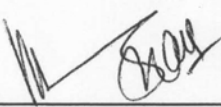
Tesis realizada por la C. **ABIGAIL MONROY SOSA**, bajo la dirección del comité asesor indicado; aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

DIRECTOR: 
Dra. Lorena Soto Pinto

ASESOR: 
Dr. Antonio Vázquez Alarcón

ASESOR: 
M.C. Jorge Castellanos Albores

ASESOR: 
Dr. Muhammad Ehsan

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad brindada para realizar mis estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme la beca para realizar los estudios de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Secretaría de Educación Pública por el financiamiento para el trabajo de campo SEP-CONACyT-2004-CO1-46244.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el apoyo económico otorgado para la realización de la tesis.

A El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación.

A la Dra. Lorena Soto Pinto por dirigir y orientar mi trabajo de tesis; por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia en el campo de la investigación en un marco de confianza y amistad, fundamentales para la realización de este trabajo.

Al M. C. Jorge Castellanos Albores, Dr. Antonio Vázquez Alarcón y al Dr. Muhammad Ehsan por las atencidas asesorías, correctas observaciones y por el tiempo dedicado para la redacción de este escrito y sus valiosas aportaciones a la presente.

Dr. Luís Manuel Serrano Covarrubias y al Ph. D Jaime Sahagún Castellanos por el apoyo en la revisión de los análisis estadísticos.

Al Biólogo Manuel de Jesús Anzueto Martínez por su valiosa colaboración en el trabajo de campo.

A Carlos Mario Aguirre, Sandra Roncal, Marcela Delgadillo por su colaboración en la fase de campo y por facilitar las bases de datos de las parcelas que fueron muestreadas.

Al Ing. Miguel Ángel López Anaya y al Técnico Manuel de Jesús Gutiérrez Gómez por colaborar en los análisis de suelo en el laboratorio de suelo y planta de ECOSUR.

A Lolita, Chio y Lupita por todas las facilidades para realizar los tramites correspondientes.

Al personal del SIBE de El Colegio de la Frontera Sur por todo el apoyo y las facilidades brindadas para el acceso a la información.

A mis compañeros: Estrella, Kokob, Lucy, Rodrigo, Luís y Fabiola por su amistad y apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres, por darme esta maravillosa vida y por alentarme a seguir siempre adelante.

A mis tíos, por darme siempre sus bendiciones

A mis hermanas y hermano

A todos mis sobrinos (as) que me dan la fortaleza para luchar día con día.

A todos aquellos (as) que me han apoyado incondicionalmente en todo momento.

DATOS BIOGRÁFICOS

Abigail Monroy Sosa Nació en San José del Valle, Municipio de Tenango de Doria Hidalgo, México, el 9 de Enero de 1984. Realizó sus estudios básicos en la escuela “Melchor Ocampo 019” en la misma localidad y estudios secundarios en la escuela Telesecundaria “Benito Juárez 043” en la cabecera municipal. Sus estudios de Educación Media Superior en el Colegio de Bachilleres del Estado de Hidalgo (COBAEH) ubicado en la cabecera municipal. Sus estudios superiores los realizó en la Universidad Autónoma Chapingo en el Estado de México donde se graduó como Ingeniera en Agroecología en el año 2006, con la tesis titulada: “Alternativas para el control de gorgojo (*Acanthoscelides obtectus* Say)” en tres variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)”.

En el año 2006, fue seleccionada por el programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible para realizar sus estudios de Maestría en la Universidad Autónoma Chapingo y en Enero del 2007 ingresó como estudiante de tiempo completo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. General.....	3
2.2. Específicos.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. MARCO DE REFERENCIA.....	5
4.1. Definición de sistemas agroforestales.....	5
4.2. Clasificación y tipos de sistemas agroforestales.....	5
4.2.1. Taungya.....	5
4.2.2. Acahuals mejorados.....	6
4.2.3. Acahual tradicional.....	7
4.2.4. Cafetal.....	7
4.2.5. Milpa.....	9
4.3. Impacto de los sistemas agroforestales.....	9
4.3.1. Suelo.....	11
4.3.2. Potencial de regeneración.....	17
4.3.3. Riqueza de especies arbóreas.....	18
4.4. Antecedentes del proyecto.....	20
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
5.1. Localización del área de estudio.....	23
5.2. Descripción de sistemas agroforestales.....	24
5.3. Variables evaluadas.....	25
5.4. Muestreo de suelos y análisis.....	25
5.5. Muestreo de plántulas, juveniles y riqueza arbórea.....	26
5.6. Análisis de datos.....	27

VI. RESULTADOS	28
6.1. Descripción de los sistemas agroforestales	28
6.1.1. Acahual mejorado	28
6.1.2. Acahual tradicional.....	30
6.1.3. Cafetal	32
6.1.4. Taungya.....	34
6.1.5. Milpa	35
6.2. Comparación entre sistemas agroforestales en dos rangos de altitud ..	36
6.3. Parámetros físicos del suelo	38
6.4.1. Compactación	38
6.4.2. Materia orgánica	40
6.4.3. Densidad aparente.....	42
6.4.4. Espacio poroso	42
6.5. Parámetros químicos del suelo	43
6.5.1. Nitrógeno total	43
6.5.1. Fósforo.....	44
6.5.3. pH	47
6.5.4. Cationes intercambiables (potasio, calcio, magnesio)	47
6.6. Capacidad de regeneración de la vegetación	51
6.6.1. Número de plántulas.....	52
6.6.2. Número de juveniles	52
6.7. Riqueza arbórea.....	53
6.8. Correlaciones de Pearson entre variables.....	54
VII. DISCUSIÓN.....	64
VIII. CONCLUSIONES.....	76
IX. LITERATURA CITADA	78
X. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las parcelas. AM (Acahual mejorado), C (Cafetal), T (Taungya), AT (Acahual tradicional), M (Milpa).....	23
Figura 2. Área delimitada para el conteo de plántulas, juveniles y riqueza arbórea en la parcela.	26
Figura 3. Componentes dentro del sistema Acahual Mejorado Tropical.....	30
Figura 4. Sistema Acahual Tradicional.	32
Figura 5. Esquema del sistema agroforestal del sistema café.....	33
Figura 6. Esquema del sistema agroforestal Taungya.....	35
Figura 7. Entradas, componentes y salidas del sistema milpa.....	36
Figura 8. Comparación de medias para compactación. DMS 1.12 (zona baja) y 2.14 (zona alta).	39
Figura 9. Comparación de medias para MO. DMS 2.44 (zona baja) y 4.73 (zona alta).	41
Figura 10. Materia orgánica en los sistemas agroforestales en relación con un suelo ideal (4 % de MO).....	42
Figura 11. Nitrógeno total en los sistemas agroforestales en relación con un suelo ideal.....	44
Figura 12. Fósforo en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal. ..	45
Figura 13. Comparación de medias para pH. DMS 0.34 (zona baja) y 0.29 (zona alta).	47
Figura 14. Potasio en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal....	48
Figura 15. Calcio en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal.....	49
Figura 16. Contenidos de Magnesio en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal.....	50

Figura 17. Diferencias entre sistemas agroforestales respecto a las propiedades del suelo.....	51
Figura 18. Comparación de medias para plántulas. DMS 6776.8 (zona baja) y DMS 20997 (zona alta).	52
Figura 19. Comparación de medias para juveniles. DMS 1798.8 (zona baja) y DMS 3186.4 (zona alta).	53
Figura 20. Comparación de medias para riqueza arbórea. DMS 5.62 (zona baja) y DMS 12.29 (zona alta).	53
Figura 21. Línea de tendencia de las variables de pH Vs Compactación.	55
Figura 22. Línea de tendencia de las variables de densidad aparente Vs materia orgánica.	56
Figura 23. Línea de tendencia de las variables de nitrógeno total Vs materia orgánica.	57
Figura 24. Línea de tendencia de las variables de materia orgánica Vs Calcio.	58
Figura 25. Línea de tendencia de las variables de materia orgánica y riqueza arbórea.....	59
Figura 26. Línea de tendencia de las variables de Nitrógeno total y Calcio.....	59
Figura 27. Línea de tendencia para las variables de nitrógeno total y riqueza arbórea.....	60
Figura 28. Línea de tendencia para las variables de calcio y potasio.....	61
Figura 29. Línea de tendencia para las variables de plántulas y juveniles.	62
Figura 30. Línea de tendencia para las variables de plántulas y riqueza arbórea.....	62
Figura 31. Línea de tendencia para las variables de juveniles y riqueza arbórea.	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis de varianza entre los sistemas agroforestales.....	37
Cuadro 2. Comparación múltiple de medias de parámetros físicos del suelo en sistemas agroforestales (SAF) para dos rangos de altitud.....	38
Cuadro 3. Comparación múltiple de medias para las variables pH, N total, P, K, Ca y Mg. En los Sistemas agroforestales (SAF) evaluados para los dos rangos de altitud.....	46
Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre sistemas para plántulas, juveniles y riqueza arbórea.	51
Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables evaluadas.	54

ANEXOS

Anexo 1. Especies arbóreas encontradas en el acahual mejorado.	96
Anexo 2. Especies arbóreas encontradas en el café con sombra.	97
Anexo 3. Especies arbóreas presentes en el sistema Milpa.	98
Anexo 4. Especies arbóreas encontradas en el sistema Acahual tradicional.	98
Anexo 5. Especies arbóreas presentes en el sistema Taungya.	100
Anexo 6. Análisis de varianza para todas las variables evaluadas de los sistemas agroforestales en la zona baja.	101
Anexo 7. Análisis de varianza para todas las variables evaluadas de los sistemas agroforestales en la zona alta.	102
Anexo 8. Clasificación de Materia Orgánica en suelos derivados de cenizas volcánicas (Fassbender y Bornemisza, 1987).	104
Anexo 9. Valores óptimos para pH del suelo (Jones y Wolf modificado 1984).	104
Anexo 10. Clasificación para Nitrógeno Total (Moreno, 1978).	105
Anexo 11. Clasificación para Fósforo extractable Olsen (CSTPA, 1980).	105
Anexo 12. Clasificación para cationes intercambiables en Acetato de Amonio pH 7.0 (Etchevers <i>et al.</i> , 1971).	105
Anexo 13. Datos de parcelas para las variables que fueron analizadas.	107
Anexo 14. Correlaciones de Pearson entre variables para el sistema de acahual mejorado.	109
Anexo 15. Correlaciones de Pearson entre variables para los acahuales tradicionales.	109
Anexo 16. Correlaciones de Pearson entre variables para los cafetales.	110
Anexo 17. Correlaciones de Pearson entre variables para los Taungya.	110
Anexo 18. Correlaciones de Pearson entre variables para el sistema Milpa.	111

Impacto de sistemas agroforestales sobre el suelo y potencial de regeneración de la vegetación en Chiapas, México

Impact of agroforestry systems on the soil and potential of regeneration of the vegetation in Chiapas, Mexico

Monroy-Sosa, A. y Soto-Pinto, L.

RESUMEN

Los sistemas agroforestales son una de las alternativas para la producción agrícola y forestal de México. Los cambios de uso de suelo y el fomento a la ganaderización en el sureste mexicano han contribuido sustancialmente al incremento de las emisiones de carbono, pérdida de diversidad vegetal y animal, así como la degradación física, química y biológica de los suelos. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de los sistemas agroforestales sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos, así como la relación que estos tienen con la regeneración vegetal en dos rangos de altitud 800-999 m (zona baja) y 1000-1550 m (zona alta). Los sistemas que se evaluaron fueron Barbecho mejorado, Barbecho tradicional, Cafetal, Taungya y Milpa.

En la zona baja el suelo del acahual mejorado fue el más compacto y en la zona alta la milpa; en los contenidos de materia orgánica no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, los sistemas de café fueron los que mayores contenidos de materia orgánica presentaron con respecto a los demás sistemas con valores de 5.18 y 7.64 % para la zona baja y alta respectivamente. La densidad aparente y el espacio poroso no mostraron diferencias significativas. Los valores de densidad aparente oscilaron entre 1.02 a 1.1 g cm⁻³ y del espacio poroso con valores de 57 y 61 % lo que indica que los sistemas agroforestales estudiados aún no han presentado un impacto positivo significativo sobre éstas propiedades.

En las propiedades químicas se encontraron diferencias significativas en el pH siendo la milpa en la zona alta la que mostró diferencias con los otros sistemas evaluados. Los valores de nitrógeno oscilaron entre 0.26 y 0.40 % siendo el sistema de café con mayores valores en las dos zonas. Los contenidos de fósforo oscilaron entre 1.85 y 4.60 mg kg⁻¹. El potasio varió de 0.26 a 0.44 Cmol kg⁻¹ sin existir diferencias significativas. El contenido de calcio oscilaron fue de 6.20 y 15.1 Cmol kg⁻¹. Los contenidos de magnesio estuvieron alrededor de 0.97 a 4.67 Cmol kg⁻¹. Los sistemas agroforestales que fueron evaluados aún no muestran tendencia alguna en el aumento de la fertilidad.

No existieron diferencias significativas en la prueba de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) entre sistemas agroforestales para las variables de plántulas y riqueza arbórea. Se encontraron diferencias significativas en el número de juveniles en la zona alta, siendo el acahual mejorado con mayor número de juveniles y la milpa con menor número de juveniles en comparación con los otros sistemas. Sin embargo, existen tendencias que a menor grado de perturbación existe mayor capacidad de regeneración y mayor diversidad de especies de árboles.

Palabras claves: barbecho mejorado, barbecho tradicional, milpa, cafetal, taungya, degradación del suelo.

ABSTRACT

The agroforestry systems are one of the alternatives for the agricultural and forest production of Mexico. Land-use changes use and the promotion of livestock farming in the Mexican southeast have contributed substantially to an increase in carbon emissions, loss of plant and animal diversity, and physical, chemical and biological degradation of the soil. The objective of this study was to evaluate the impact of agroforestry systems on the physical and chemical properties of soil, as well as the relation that these have with plant regeneration in two altitude rank 800-999 m (low zone) and 1000-1550 m (high zone). The systems that were evaluated were improved fallow, traditional fallow, Coffee plantation, Taungya and Milpa.

In the low zone the soil of the improved fallow was most compact and in the high zone the milpa; in terms of organic matter contents not significant differences were found; however, the coffee systems were the ones that contained greater organic matter in relation to the other systems with values of 5.18 and 7.64% for the low and high zone respectively. The apparent density and the porous space did not show significant differences. The values of apparent density oscillated between 1.02 to 1.1 g cm⁻³ and of porous space between 57-61% which indicates that the agroforestry systems studied not yet have presented a significant positive impact on these properties.

In terms of chemical properties, significant differences were found in the pH, as the milpa in the the high zone the showed significant differences whit the other system evaluated. The values of nitrogen oscillated between 0.26 and 0.40%, as the coffee system had greater values in the two zones. The phosphorus contents oscillated between 1.85 and 4.60 mg kg⁻¹. The potassium varied from 0.26 to 0.44 Cmol kg⁻¹ without significant differences. The calcium contents oscillated between 6.20 and 15.1 Cmol kg⁻¹. The magnesium contents were around 0.97 to 4.67 Cmol kg⁻¹. The agroforestry systems that were evaluated did not show any tendency in terms of increased fertility.

There were no significant differences among agroforestry systems for the variables of seedlings and arboreal wealth. Significant differences were found in the number of young plants in the high zone, as the improved fallow had a greater number of young plants while the milpa ha a smaller numbers young plants in comparison with the other systems. Nevertheless, the capacity for regeneration and diversity of tree species tend to be higher at a lower degree of disturbance.

Key words: improved fallow, traditional fallow, milpa, coffee plantation, degradation of soil.

I. INTRODUCCIÓN

En México en los años 60's la revolución verde caracterizada por el aumento en la mecanización del campo, la utilización de semillas mejoradas, prácticas de producción no acordes con las condiciones fisiográficas a fin de incrementar los rendimientos agrícolas en las regiones menos adelantadas, trajo consigo una serie de problemas, que se reflejan en pérdida de gran parte de los recursos naturales. Los recursos suelo, agua y diversidad genética han sido sobre utilizados, hoy en día se tienen suelos salinizados y compactados por el exceso de labranza, pérdida de capacidad de permeabilidad, reducción en la calidad estructural, menor cantidad de materia orgánica, pérdida de fertilidad así como la contaminación por plaguicidas en suelo y agua (Gliessman, 2002).

La pérdida de recursos naturales también se da por la necesidad de producción de alimentos para satisfacer la demanda de la población aumentando la frontera agrícola además de la reducción de los periodos de barbecho (Young, 1989). En América Latina, de 1981 a 1990, se perdieron bosques y selvas a una tasa anual de 7.4 millones de hectáreas (Toledo y Castillo, 1999). Ochoa y González (2000) indican que en la región de los altos de Chiapas, la tasa de deforestación anual fue de 1.6% entre los años 1974 y 1984 y 2.1% entre 1984 y 1990.

Los cambios de uso de suelo y la deforestación de los bosques tropicales causan problemas secundarios como el incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y degradación de suelos. En México, estos factores han sido la principal fuente emisora de CO₂ atmosférico ocasionando un desequilibrio ecológico de nuestro planeta. Ordóñez y Masera (2001) mencionan que México se ubica dentro de los 20 países con mayores emisiones de estos gases. Además los suelos degradados en México son alrededor del 64%, de los cuales 37 % presentan erosión hídrica, 14.9 % erosión eólica, 6.8 % contaminación química, 3.6 % contaminación biológica y 1.8 % degradación física, encontrándose en primer lugar de todos los países del mundo (SEMARNAT, 2003). México, Centro América y los Andes conforman la

porción del mundo con los más graves procesos de erosión de sus suelos (Toledo y Castillo, 1999). A nivel mundial las tres causas principales de la deforestación es el sobre pastoreo, la deforestación y las prácticas agrícolas inadecuadas con 35, 29 y 28 % respectivamente (SEMARNAT, 2003).

Una forma de enfrentar estos problemas es la implementación de alternativas de producción para la agricultura, que por un lado satisfagan las necesidades de producción y a la vez brinden beneficios ambientales que contrarresten la pérdida de recursos naturales (suelo, vegetación, biodiversidad, etc.). En este contexto, los sistemas agroforestales (SAF) como paradigma técnico-productivo cumplen funciones de protección al suelo, disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (Montagnini, 1992) a su vez modifican las características físico-químicas del suelo como su estructura, incremento de la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio (Young, 1989).

No obstante la potencialidad de dichos sistemas para la conservación de suelos (Young, 1989), mayores beneficios en producción, productividad biofísica, mejoras socioeconómicas (Krishnamurthy y Ávila, 1999), diversidad productiva, rendimiento sostenido, equilibrio ambiental (Montagnini, 1992), son pocas las investigaciones que evalúen el impacto positivo y negativo que estos sistemas causan, específicamente en suelos (Maldonado *et al.*, 2006), desde el punto de vista de su fertilidad así como su potencial que tienen para dar lugar a la regeneración de la vegetación secundaria de los ecosistemas.

Por tal motivo, surge la necesidad de evaluar los sistemas agroforestales para determinar su impacto tanto positivo como negativo en las características físico-químicas del suelo y la capacidad de regeneración de la vegetación.

II. OBJETIVOS

2.1. General

- Determinar el impacto sobre las propiedades físico-químicas del suelo y la capacidad de regeneración de la vegetación de sistemas agroforestales implementados por el proyecto *Scolel' té* en comunidades indígenas del Estado de Chiapas.

2.2. Específicos

- Comparar parámetros físico-químicos del suelo: compactación, materia orgánica, densidad aparente, espacio poroso, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio entre sistemas agroforestales y contrastarlos con el sistema milpa y acahual tradicional en dos rangos de altitud a fin de contribuir con información sobre el impacto positivo que estos sistemas causan en el suelo.
- Estimar la riqueza arbórea, número de plántulas de árboles y juveniles (2 a 9.9 cm de diámetro a la altura del pecho) en los sistemas agroforestales y compararlos con el sistema de milpa y acahual tradicional como indicadores para la regeneración de vegetación en el ecosistema.

III. HIPÓTESIS

- Los suelos de sistemas agroforestales acahual tradicional, acahual mejorado, cafetal y taungya tienen diferentes propiedades físico-químicas comparadas con el sistema milpa.
- La regeneración de la vegetación es mayor en el acahual tradicional, seguido de los sistemas agroforestales acahual mejorado, cafetal y taungya, y todos estos tendrán mayor potencial de regeneración que el sistema milpa.

IV. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Definición de sistemas agroforestales

La agroforestería es un uso integrado de la tierra que se adapta particularmente a las zonas marginales y a los sistemas de bajos insumos. Nair (1997) define a la agroforestería como forma de uso de suelo en donde se incluye una mezcla deliberada entre árboles con cultivos y/o animales. Así, el objetivo fundamental de los sistemas agroforestales es optimizar los efectos benéficos de las interacciones del componente arbóreo con el componente animal o cultivos dependiendo de las condiciones económicas, ecológicas y sociales (Nair, 1997).

4.2. Clasificación y tipos de sistemas agroforestales

Nair (1997) hace una clasificación de los SAF es de acuerdo a un arreglo temporal y espacial de los componentes, la importancia y el rol de éstos, los objetivos de la producción y el escenario económico-social.

Los trópicos húmedos son regiones en términos de población humana total que soportan la extensión y diversidad de la agroforestería y otros sistemas de uso de la tierra. Algunos de los SAF comunes que se encuentran en esta zona son los huertos caseros, agricultura migratoria, combinación de cultivo-plantación, taungya y varios sistemas de intercultivos (Nair, 1997).

4.2.1. Taungya

Originalmente fue un término local para nombrar a la agricultura itinerante, posteriormente se utilizó para describir el método de forestación. Actualmente, este sistema agroforestal consiste en sembrar cultivos agrícolas anuales junto con especies forestales durante los primeros años de establecimiento de la plantación forestal (Nair, 1997). El tiempo de permanencia de los cultivos depende de la especie forestal, ya que estará en función de la sombra que se

genere por el componente arbóreo y que ésta no limite el crecimiento de los cultivos. De acuerdo al arreglo de los componentes Nair (1997) clasifica a este sistema como concomitante, siendo un sistema agrisilvícola por la naturaleza de sus componentes. Nair (1997) considera a los sistemas taungya como otro paso en el proceso de la transformación de la agricultura migratoria a la agroforestería.

4.2.2. Acahuales mejorados

Los acahuales mejorados consisten en el uso de especies arbóreas en rotación con la agricultura migratoria y la razón es la generación de un producto con valor comercial y/o acelerar el mejoramiento del suelo (Nair, 1997) o ambas cosas por lo cual la elección de las especies forestales es muy importante. Los acahuales mejorados en la zona tzeltal del Estado de Chiapas implementados con el objetivo de mitigar el cambio climático, son sistemas en los que se introdujeron especies maderables (cedro, caoba, roble, pino, entre otros dependiendo de la zona climática) con valor comercial u otras especies que convengan al productor en los acahuales (tierras en descanso con vegetación secundaria), esta opción se considera cuando el productor posee suficiente tierra para utilizar parte de ella para plantar árboles (Soto-Pinto *et al.*, 2008).

El enriquecimiento de los acahuales se hace con la finalidad de incrementar la proporción de las especies comercialmente valiosas y no como sustitutas de la regeneración natural, sino más bien como un complemento de ésta (Gullison y Hubbell, 1992). La plantación de enriquecimiento constituye una técnica de reforestación que se ha utilizado con éxito en los trópicos para mejorar el potencial productivo de los acahuales (Weaver, 1987). Estas plantaciones de enriquecimiento se consideran como una estrategia apropiada para la conservación de especies deseables, siendo el manejo de los acahuales una alternativa real para el manejo de uso de suelo (Centeno, 1999). Además de ser una técnica sustentable para mejorar la fertilidad del suelo y la producción de cultivos (Manfongoya *et al.*, 1997).

Ante la necesidad de recuperar las áreas degradadas se plantean una serie de estrategias de manejo para los acahuals dentro de las que se contemplan el aclareo y selección de especies, promover y acelerar la regeneración natural removiendo el dosel así como el enriquecimiento de distintas especies ya sea en claros o en aclareos de plantaciones en línea (Ramos y Del Amo, 1992; Del Amo, 2004).

4.2.3. Acahual tradicional

Los acahuals tradicionales son aquellos representados por vegetación secundaria después de que el área ha sido cultivada con milpa. Pasa a ser área de descanso por un tiempo que va desde los 3 a 15 años o más para la recuperación de la fertilidad del suelo, dependiendo de la superficie con la que cuente el productor para el establecimiento de la milpa. Estos sistemas no tienen un arreglo espacial ni temporal de las especies presentes y generalmente no están bajo ningún esquema de manejo.

Del Amo y Ramos (1993) señalan que las selvas tropicales con vegetación secundaria conocidos como acahuals o barbechos juegan un papel importante en la restauración, mantenimiento de la productividad del suelo y en la regulación del agua, además de contribuir con el secuestro de carbono, encontraron que en estos sistemas se llega a acumular hasta 157.87 ± 52.05 Mg C ha⁻¹ (Soto-Pinto *et al.*, 2008)

4.2.4. Cafetal

Pohlan *et al.* (2006) mencionan que los sistemas de café bajo sombra para la captura de carbono consisten en la revalorización del cafetal mejorando el manejo de la sombra actual. Se plantan árboles maderables como sombra y con el tiempo se sustituye la sombra de poco valor económico por una sombra de mayor valor como son los árboles de hormiguillo (*Cordia alleodora*), caoba (*Swietenia macrophylla*) y el cedro (*Cedrela odorata*).

En la región se encuentran varios sistemas de producción del cafetal; dentro de la clasificación de Moguel y Toledo (1999) existen cafetales rusticanos (aquellos en los que se encuentra mayor diversidad de especies de sombra y que generalmente los cafetos fueron establecidos bajo la cobertura del bosque, el manejo en estos sistemas es mínimo); tradicionales (sistemas en los que la sombra es diversa y que se inducen especies maderables, frutales o medicinales para autoconsumo); comerciales (aquellos en donde se manejan pocas especies de sombra y que tienen un alto valor económico ya sean maderables o frutales que son destinados a la comercialización).

En un estudio que se realizó se encontró una densidad de árboles y arbustos de sombra de 463 con un rango que osciló entre 100 y 1000 árboles por hectárea en parcelas de cafetales del municipio de Chilón, Estado de Chiapas (Soto-Pinto *et al.*, 2002). Por otro lado, se han estudiado los impactos en el suelo de los diferentes tipos de sombra en cafetales donde se encontró que la sombra no tuvo ningún efecto en la producción ni en la concentración de nutrientes en el suelo. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre los nutrientes del suelo en sistemas de cafetales con sombra monoespecífica de *Inga* sp y sistemas con sombra rustica (Romero-Alvarado *et al.*, 2002).

Alvarado (2007) evaluó el efecto de sistemas de manejo de café: orgánico y natural con diferente composición de sombra sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en una comunidad del municipio de Jaltenango, Chiapas donde se encontró que en el café polisombra hay mejor relación de K-Ca-Mg. Además de que la altitud y el manejo influyeron sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Por otro lado las plantaciones de café sombreado en México son ejemplo de ambientes comparativamente favorables con los refugios forestales naturales de diversas aves migratorias. Esos sistemas agroforestales tienen también un alto potencial de refugio para la biodiversidad, particularmente en áreas

degradadas, así como para constituir el ‘tampón’ de las zonas de manejo de biodiversidad. Cuando se usan especies nativas como árboles de sombra en ‘zonas de tampón’ puede mantenerse un gran pool genético, lo que sólo es posible en áreas de protección ambiental (Beer *et al.*, 1998).

4.2.5. Milpa

Es un sistema productivo tradicional de granos básicos de la región, el cual se identifica por una asociación de especies de maíz, frijol, calabaza y chile (Montoya *et al.*, 1995). Por otro lado se menciona que en la región los agricultores cultivan un promedio de 0.5 ha en el que los ciclos de cultivo van de 3 a 7 años con periodos de barbecho de hasta 15 años dependiendo de la superficie de terreno con la que cuente el agricultor (Roncal-García *et al.*, 2008).

Duch (1995) dice que la milpa se desarrolla como un sistema eficiente, productivo y sostenible, dentro de un esquema y plazos razonables que varían de acuerdo a las circunstancias ambientales; caracterizándose por ser migratoria, recurrente y estacional. Esta práctica es un proceso de varios pasos que incluye selección del sitio, clareo del bosque mediante roza-tumba-quema, cosecha, abandono de la tierra y regeneración de la vegetación (Kleinman *et al.*, 1996).

Sin embargo, estos sistemas basados en la roza-tumba-quema han entrado en crisis, debido a que los periodos de descanso se han reducido; mismos que determinan la pérdida de fertilidad natural y la invasión de la maleza durante el cultivo que se traduce en menores cosechas y la merma en la provisión de productos secundarios (Bandy *et al.*, 1993).

4.3. Impacto de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales causan impacto en el medio donde se desarrollan y generalmente son benéficos por equilibrar el funcionamiento del agroecosistema, se basa en términos de la captura de los recursos, producción

de beneficios físicos que son esperados cuando los recursos entre los árboles y los cultivos son complementarios específicamente en los recursos del suelo y de las condiciones ambientales (Cannell *et al.*, 1996).

Nair (1997) menciona que en estos sistemas existen interacciones ecológicas y económicas entre los componentes y conocer los sinergismos conduce a mejoras en un rango de características, tales como productividad y sostenibilidad, además de los beneficios ambientales no comerciales. Es sabido, que este tipo de sistemas juegan un rol ecológico en el que se destaca la función de mantenimiento de la biodiversidad en paisajes agrícolas deforestados; la reducción de la erosión y recuperación de suelos y praderas degradadas, por tanto la conservación y recuperación de la capacidad productiva del suelo; el mantenimiento de cantidad y calidad del agua, la absorción de carbono y reducción de las emisiones de gases de invernadero (Harvey *et al.*, 2003).

Soto-Pinto *et al.* (2008) cita una serie de ventajas del componente arbóreo en sistemas agroforestales dentro de las que se destacan una mejor utilización de los espacios con los que se cuenta para realizar las prácticas agrícolas, que genera un incremento en la producción de biomasa potencial, mayor aprovechamiento de la luz, agua y los nutrientes, el rol del componente arbóreo ante la problemática de erosión, pérdida de la fertilidad y degradación en general del suelo, además, del aprovechamiento de los nutrientes debido a la profundidad de las raíces, ayudan a regular la temperatura y conservación de la humedad, la conservación de la biodiversidad por el alimento y conservación de hábitat de la flora y la fauna asociada. Señalando también la importancia de la belleza escénica y la captura de carbono.

Los árboles en sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (Montagnini *et al.*, 1999; Fassbender, 1993). También pueden modificar

las características del suelo como su estructura, capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio (Young, 1989). Muschler (2000) menciona que además de los beneficios ecológicos pueden generar ingresos adicionales por la producción de madera, leña y frutos.

El componente arbóreo en un sistema agroforestal también puede tener efectos adversos sobre el suelo si no se lleva a cabo un diseño y un manejo adecuado de las prácticas agroforestales. Nair (1997) cita algunos problemas relacionados al mal manejo de los árboles y destaca la pérdida de materia orgánica y nutrientes en la cosecha de los árboles, competencia por nutrientes entre los árboles y los cultivos cuando no se seleccionan bien los componentes del sistema si se coincide con el mismo tipo de sistema radicular; competencia por humedad y la producción de sustancias que inhiban la germinación o el crecimiento de algunas especies.

La necesidad de proteger las tierras bajo cobertura forestal y la demanda por más tierras para la producción de alimentos y la ganadería justifica la agroforestería, ya que se concilian objetivos múltiples de producción y conservación a largo plazo, además de que tiene como objetivos principales aumentar los rendimientos y los productos obtenidos, así como la fertilidad del suelo, para mejorar el nivel de vida de los productores (Jiménez *et al.*, 2001).

4.3.1. Suelo

En el suelo, el componente arbóreo influye en variables físico-químicas, biológicas y ambientales. Entre las variables físicas están; densidad, porosidad, humedad y compactación (Cardona y Sadeghian, 2004) y en las químicas esta el balance de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, entre otras. Sin embargo, el impacto de los árboles sobre el suelo depende de las características de reciclaje de nutrientes, tales como la cantidad de hojarasca producida, su composición química y su tasa de descomposición (Montagnini *et al.*, 1999). Medir el impacto de los sistemas resulta ser muy complejo, uno de

los indicadores ecológicos es el balance de nutrientes (reservas de nutrientes y flujo de nutrientes entre los distintos compartimentos, incluidos los aportes y extracciones de las materias), que permiten conocer la dinámica de los ciclos de los nutrientes dentro del sistema para orientar el manejo de éstos y la minimización de las pérdidas.

Altieri y Yurgevic (1991) mencionan que si se mantienen los principios ecológicos de los ecosistemas naturales (por ejemplo, el establecimiento de árboles en cultivos anuales como la mejor manera de preservar la fertilidad y la estructura de muchos suelos tropicales) es probable que a largo plazo se produzca un mayor rendimiento para el agricultor ya que la calidad de los suelos esta influenciada directamente por el manejo (Henríquez *et al.*, 2004).

A menudo todos los suelos agrícolas manifiestan algún tipo de degradación que puede ser física, química o biológica (Geisser *et al.*, 2000; Meza y Geisser, 2006), comparados con suelos similares bajo vegetación natural y difícilmente son capaces de ofrecer un servicio ambiental de calidad y requieren de esfuerzos técnicos y económicos para conservar y restaurar las funciones ambientales, sin embargo, los sistemas agroforestales son capaces de frenar el deterioro ambiental y conservar la fertilidad de los suelos (Young, 1989).

Narain *et al.* (1997) analizó diversos sistemas agroforestales en cuanto a la pérdida de suelo, nutrientes y escurrimiento y menciona que éstos en comparación con monocultivos de maíz, dieron mejores resultados. Se encontró que la pérdida de nutrientes fue mayor en el cultivo de maíz comparado con el cultivo intercalado con árboles de eucalipto y leucaena donde se conservan mejor los nutrientes.

Para el caso de la agricultura migratoria el desmonte y la quema de la vegetación conduce a una disrupción de este ciclo cerrado de nutrientes. Durante la operación de la quema, aumenta la temperatura del suelo. Esta

variación de cambio de temperatura tiene un efecto directo sobre la actividad biológica del suelo. La adición de ceniza cambia las propiedades químicas del suelo y en el contenido de la materia orgánica (Nair, 1997). Las bases intercambiables y el fósforo disponible aumentan después de la quema; los valores de pH también aumentan, aunque generalmente solo en forma temporal, también se espera que los contenidos de materia orgánica aumenten por los residuos de vegetación (Nair, 1984).

Nair (1997) reporta un sistema taungya de maíz con *Gmelina arborea* donde se encontró un ligero aumento en contenidos de nitrógeno y fósforo, una disminución en los contenidos de carbono orgánico en el suelo, ningún cambio en las bases intercambiables y pH en comparación con *Gmelina* sola. También se reporta que en otros estudios en el sur de Nigeria se concluyó que esta práctica no tendría ningún efecto adverso a la fertilidad del suelo.

Propiedades físicas y químicas del suelo

El suelo es una mezcla de los componentes sólidos, líquidos y gaseosos y la adecuada relación entre estos componentes ayuda a mantener un buen desarrollo de las plantas además de un mejor aprovechamiento de los nutrientes. Dentro de las propiedades físicas del suelo está la textura que es la conformación de las partículas de diferentes tamaños, la estructura que es la forma de cómo están ordenados los agregados o peds, la firmeza con que se unen los materiales que lo componen conocida como la consistencia, densidad que refleja la cantidad de masa por unidad de volumen y el espacio poroso.

En los ecosistemas, el mantenimiento de la cobertura forestal favorece estas propiedades por el sistema de raíces del componente arbóreo y la adición de la materia orgánica. Carter (2002) menciona que la materia orgánica es uno de los indicadores de calidad de suelos más usados en el mundo ya que influye directamente en la agregación del suelo, la estructura, la capacidad de retención de humedad, regulación del aire y conservación de nutrientes.

La compactación del suelo es “el proceso por el cual las partículas del suelo sufren un arreglo, aumentando el contacto entre si mismas, disminuyendo el espacio poroso e incrementando la densidad aparente” (Soil Science Society of América, 1996) teniendo efectos sobre los cultivos y sobre otras propiedades físicas del suelo (Batey, 1990), también modifica la cantidad de nutrientes que pueden ser absorbidos por las especies vegetales. La densidad está en función del espacio poroso por la cantidad de materia orgánica y del origen de los suelos.

Young (1989) menciona que los sistemas agroforestales son una alternativa para la conservación de suelo y el mantenimiento de sus propiedades físicas. Se han estudiado algunos de sistemas en donde se ha destacado la importancia de los árboles. En un cultivo en callejones de granos básicos con madre cacao y *Gliricidia sepium* (Jacq), la humedad en el suelo mejoró del 1 al 2 % y la materia orgánica en 0.01% con respecto a los sistemas tradicionales (Soriano, S/F).

Lal (1996) determinó los efectos de la deforestación, la labranza de "post desmonte" y sistemas de cultivos sobre las propiedades del suelo, durante 1978 a 1987 en sur oeste Nigeriano. Los resultados mostraron que la deforestación y los cambios en el uso del suelo causan cambios drásticos en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo, los cuales habían sido extremadamente favorables bajo el sistema boscoso antes de la tala. La densidad aparente y la resistencia a la penetración como indicadores de la compactación se incrementaron significativamente.

Dentro de las propiedades químicas de los suelos esta el pH, los nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico. Young (1989) menciona que las prácticas agroforestales ayudan a mantener estas características fundamentalmente por la mineralización de la materia orgánica proveniente tanto de la parte aérea como el sistema de raíces, así la conservación de los suelos también esta

representada por la fertilidad de los mismos, siendo un aspecto fundamental para la productividad del sistema. Los balances de nutrientes han sido poco estudiados en agroforestería, sin embargo, existen algunos estudios que demuestran el potencial de estos sistemas en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos.

Nair (1997) clasifica el efecto de los árboles sobre el suelo de acuerdo a la naturaleza de los procesos en: *inversión* que mediante la adición de hojarasca y pudrición de raíz hay un mejoramiento de la materia orgánica, mediante la fijación de nitrógeno mayor disponibilidad del mismo y regula la distribución de la lluvia que influye sobre la adición de nutrientes por lluvia y/o polvo; *resultado* que es la protección contra la erosión del agua y del viento lo que reduce la pérdida de suelo y nutrientes; *devolución* mediante la liberación/ciclo/recuperación de nutrientes; *catalítica* (influencias indirectas) mediante procesos físicos, químicos, biológicos y microclimáticos de los cuales su principal efecto es el mejoramiento de las propiedades del suelo, efecto moderado sobre la acidez, salinidad y alcalinidad, efecto sobre la actividad microbiana y calidad de la hojarasca a través de la diversidad de especies.

En muchas zonas tropicales es frecuente encontrar suelos ácidos, con altas tasas de saturación de aluminio (tóxico para muchos cultivos) y con bajas concentraciones de nutrientes esenciales (principalmente N, P, K, Ca y Mg), que dificultan el desarrollo de árboles y cultivos. La agricultura tradicional en muchas zonas tropicales ha estado basada en la roza, tumba y quema del bosque, que libera rápidamente los nutrientes acumulados en la biomasa de la vegetación; permitiendo la agricultura durante uno o dos años. El periodo de barbecho del terreno permite la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, ya sea en forma natural con vegetación secundaria espontánea o por especies que mejoran el suelo (Alegre *et al.*, 1999).

Los residuos vegetales generados en los agroecosistemas, son objeto de procesos de descomposición y mineralización, que liberan una serie de compuestos importantes para la nutrición de las plantas y posibilitan la disponibilidad de cantidades considerables de N, P, K, Ca, Mg y otros microelementos. En este proceso, se producen tanto sustancias inorgánicas (en forma de aniones y cationes) como sustancias orgánicas, que pueden ser objeto de nuevos procesos de resíntesis y polimerización, formando ácidos húmicos, con características y propiedades químicas específicas (Fassbender, 1992).

El fósforo es un nutriente que generalmente esta poco disponible en el suelo. Grierson y Adams (1999) señalan que en muchas regiones del mundo las deficiencias de fósforo han sido un problema en la agricultura por lo que los procesos responsables de la mineralización requieren especial atención. La forma más común de hacer el fósforo disponible ha sido la utilización de asociaciones con micorrizas.

En sistemas agroforestales el fósforo se acumula en la biomasa y luego regresa al suelo a través de la descomposición de la hojarasca. Sin embargo esto es parte de un ciclo y no una aportación que viene de fuera del sistema. No obstante, parte del fósforo inorgánico presente en formas menos disponibles en el suelo puede resultar más disponible gracias a este proceso (Sánchez y Palm, 1996). Los contenidos de fósforo están ligados a los contenidos de materia orgánica (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Los incrementos de potasio están estrechamente relacionados con la cantidad de materia orgánica, sin embargo, la disponibilidad de éste depende de la textura de los suelos (Aguado *et al.*, 2002). El tipo de arcilla ellítico o vermiculítico, promueve mayores cantidades de potasio, que puede ser liberado en la medida que se transforman las estructuras.

Kumar *et al.* (1998) indican que *Tectona grandis* (teca) intercalada con *Leucaena leucocephala* (leucaena), incrementan el crecimiento de la teca y las características químicas del suelo se modifican favorablemente. En México, se estudió la dinámica de la materia orgánica, fósforo y potasio en cinco sistemas agroforestales en el municipio de Teapa, Tabasco y encontró que los sistemas: cedro y cedro-plátano enano gigante presentaron los mayores contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio lo que se atribuye a una mejor fertilidad del suelo y el aporte de los nutrientes por la mineralización de la hojarasca de cedro y plátano. Así, reduciría considerablemente las dosis aplicadas de fósforo en los sistemas de plátano para evitar el empobrecimiento del suelo. También se encontró que a mayor profundidad los contenidos de la materia orgánica, el fósforo y el potasio se reducen significativamente, sin embargo, pueden ser aprovechados por el sistema de raíces del cedro (Maldonado *et al.*, 2006).

En un estudio que se llevó a cabo en el Estado de Yucatán sobre la contribución de los barbechos cortos en la recuperación y la fertilidad del suelo en milpas se encontró que los barbechos de 2 y 4 años contribuyeron a mejorar la fertilidad del suelo de algunas propiedades químicas del suelo al observarse incrementos de materia orgánica, NO₃, K y Mg (Uribe y Petit, 2007).

4.3.2. Potencial de regeneración

La sucesión secundaria es un proceso ecológico caracterizado por los cambios que suceden en un ecosistema después de una perturbación natural o humana mediante la cual a través del tiempo se recupera la vegetación original (Richards, 1979; Finegan, 1996), y se afecta la estructura y la dinámica de las comunidades vegetales (García-Sánchez, 2005). Hoy en día este tipo de ecosistemas debido a su extensión tienen gran importancia (Finegan, 1996). Sin embargo, no se tiene ningún sistema de manejo estable (Del Amo y Ramos, 1993). Browder *et al.* (2005) encontraron relaciones potenciales entre sistemas agroforestales y la regeneración de la vegetación secundaria mediante imágenes vía satélite.

Cuenca y Lovera (1994) manifiestan que una forma para la recuperación de las áreas degradadas deben de utilizarse semillas de las plantas nativas. La sucesión vegetal entendida como una modificación de la composición y dominancia de especies, podría ser como un proceso de cambio progresivo especialmente heterogéneo, sujeto además a valores de cambio catastróficos que pueden devolver bruscamente el sistema a situaciones pioneras.

Vallejo (2003) cita que una forma de abordar la regeneración de la vegetación consiste en imitar a la naturaleza, tanto en lo que concierne a la selección de especies como a los pasos de emular el incremento de complejidad del sistema. Si el medio a restaurar no presenta ningún relicto de vegetación, la restauración tomará como modelo los ecosistemas adyacentes, de los que con mucha probabilidad les llegaran las semillas. La sucesión secundaria indicará la secuencia de comunidades que se sucederán hasta originar una comunidad estable capaz de autoperpetuarse en concordancia con las condiciones ambientales. El proceso de regeneración comienza por la capacidad de establecimiento que tienen las especies que bien puede ser por rebrote o por germinación de las semillas debido a la capacidad de producción, duración y capacidad para germinar. Sin embargo, las particularidades ecológicas de las especies y las variaciones en los tipos de suelo, ofrecen distintas posibilidades de sucesión (Uhl *et al.*, 1988).

La revegetación es mucho más rápida y representa una garantía de protección frente a la erosión, aspecto aún más evidente en el caso de especies arbustivas capaces de ejercer un efecto que facilita en la vegetación circundante y que contribuyen al establecimiento de especies anuales (Rodríguez-Echeverría y Pérez-Fernández, 2003).

4.3.3. Riqueza de especies arbóreas

Los sistemas agroforestales tienen un efecto positivo sobre la biodiversidad que se logra por la combinación de varias especies y una medida de la

biodiversidad empleada comúnmente es la riqueza de especies entendida como el número de especies en determinada área o superficie (Gaston, 1996). Gutiérrez y Fierro (S/F) mencionan que la estructura y diversidad se incrementan al incluir especies de plantas de forma de vida diferentes y con diferente arquitectura. Las especies nativas son particularmente importantes para la vida silvestre, se logra una cobertura durante todo el año, se tiene una variedad de microhábitat por retención de árboles muertos, troncos de árboles caídos y desechos de hoja y por último estos autores mencionan que pueden ofrecer una conectividad de los paisajes alterados creando corredores para la vida silvestre.

Huang *et al.* (2002) remite a la agroforestería como un acercamiento en técnicas de producción para la conservación de la biodiversidad. En muchos sitios con sistemas agroforestales se tiene de 50 a 80 % de diversidad comparado con bosques naturales por lo que éstos son una alternativa para las áreas en conservación (Nobel y Dirzo, 1997). Finegan (1996) menciona que los bosques secundarios están siendo reconocidos por la riqueza de las especies, la composición y la dinámica de las poblaciones, lo que representa un gran potencial para la preservación de los recursos naturales ya que pueden llegar a convertirse en bosques maduros.

En algunas regiones del mundo como es el caso de Puerto Rico gran parte de los bosques naturales han desaparecido, sin embargo, un alto porcentaje de la biodiversidad se ha conservado debido a la permanencia de sistemas agroforestales cafetaleros diversificados (Perfecto *et al.*, 1996). Arango (2007) en un estudio realizado para la zonificación agroecológica del café en Puerto Rico y análisis estructural y la composición de especies arbóreas presentes en el agroecosistema cafetalero encontró a una altitud de 600-800 m y 800-1000 m un promedio de 4.22 y 4 número de especies en 1000 m².

Romero-Alvarado *et al.* (2002) en un estudio realizado en sistemas agroforestales de café bajo sombra de *Inga* sp. y en cafetales con sombra de especies múltiples encontraron de 282 ± 159 y 457 ± 257 de árboles de sombra por hectárea respectivamente y una riqueza de especies en 100 m^2 de 1.6 ± 0.7 y 3 ± 1.4 para cafetales bajo sombra de especies de *inga* sp. y con especies múltiples respectivamente. También se encontró mayor número de estratos en sistemas de café con sombra de especies múltiples. Muschler (1997) menciona que a mayor diversidad de especies se concilian múltiples objetivos de conservación y los sistemas de producción son más sostenibles.

En cafetales tradicionales bajo sombra en Chiapas, México, Soto-Pinto *et al.* (2002) encontraron en promedio 2.6 estratos de sombra, riqueza de especies de sombra de 3.5 con un rango de 1 a 8 especies en 100 m^2 , y un índice de diversidad de 3.5 con un mínimo de 0 y un máximo de 6.72 en 100 m^2 .

En una evaluación realizada en Xalapa, Veracruz, para determinar la riqueza de árboles en fincas cafetaleras activas y abandonadas (10-20 años) se encontró en promedio 51 y 61 especies de árboles respectivamente en 4000 m^2 con distribuciones espaciales agregadas (López y Williams, 2006).

4.4. Antecedentes del proyecto

Esta investigación, se enmarca dentro del proyecto de cuantificación de carbono y evaluación de los sistemas en Chiapas: bases para el desarrollo de servicios ambientales que tiene por objetivos la caracterización de los sistemas agroforestales implementados en la región, evaluar el crecimiento de los árboles, así como estimar la cantidad de carbono capturado y evaluar el impacto ambiental, económico y social (Soto-Pinto, 2004).

En el año de 1994 se implementó el proyecto *Scolel' té* (Cultivando árboles), iniciado por un grupo de investigadores de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) y la Universidad de Edimburgo, cuyo objetivo central fue generar

alternativas para la mitigación del cambio climático y dar opciones de producción a los habitantes de la zona tzeltal y tojolabal del Estado de Chiapas (Soto-Pinto *et al.*, 2004). Se eligieron sistemas agroforestales y forestales en la zona, realizándose evaluaciones de las propuestas en el ámbito técnico y social de las nuevas tecnologías (Montoya *et al.*, 1995).

En 1996 se iniciaron las plantaciones de los sistemas forestales y agroforestales en parcelas individuales. Los sistemas establecidos fueron: acahual mejorado, taungya y cafetal con sombra, entre otros, con especies de valor comercial, acordes a las condiciones climáticas (Soto-Pinto *et al.*, S/F). En las zonas templadas se seleccionaron especies de pino (*Pinus* spp.) y ciprés (*Cupressus* spp.) para los sistemas agroforestales, en tanto que en las zonas calido húmedas se escogieron el cedro (*Cedrella odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), primavera (*Tabebuia* spp.), guanacastle (*Pterocarpus* sp.), zapote mamey (*Mammea sapota*) y pospiste (*Blepharidium mexicanum*) (Soto-Pinto, 2004).

En el año 2005, se iniciaron las evaluaciones técnicas de los sistemas agroforestales. Aguirre (2006) encontró que en promedio de los sistemas agroforestales de café de la región acumulan 172 Mg C ha⁻¹. Aguilar (2007) encontró en promedio 88.2 Mg C ha⁻¹ en sistemas silvopastoriles de árboles en potrero y cercas vivas en la selva lacandona. Roncal (2006) encontró una correlación positiva entre la complejidad de los sistemas agroforestales y la cantidad de carbono capturado, siendo el suelo el mayor reservorio de carbono.

Delgadillo y Quechulpa (2007) en evaluaciones de los reservorios de carbono en la biomasa aérea, biomasa muerta, suelo y biomasa bajo el suelo para los sistemas de taungya, acahual mejorado tropical y subtropical implementados por el proyecto *Scolel té* encontraron contenidos de 149.84, 171.68, 106.96 Mg C ha⁻¹ respectivamente.

Aguilar-Cruz (2008) en un estudio que realizó sobre el crecimiento y sobrevivencia de los acahuals mejorados establecidos, encontró que además de los árboles que se establecieron, se encontraron de 4 a 13 especies de la vegetación natural en un área de 1000 m². Para estos mismos sistemas la caoba tuvo un porcentaje de sobrevivencia de 99.2 % y el cedro de 85.1 %.

En los estudios realizados en el proyecto *Scolel té* se han encontrado algunas tendencias en cuanto a la cantidad de carbono capturado, complejidad de los sistemas y la capacidad de brindar servicios ecosistémicos. Las comparaciones realizadas entre sistemas agroforestales han reflejado diferencias contrastados con sistemas de milpa y acahuals tradicionales, por lo tanto los sistemas agroforestales resultan ser promisorios de una gama de beneficios ambientales tangibles como intangibles, además de ser una opción de producción como alternativa ante la necesidad de conservación de recursos naturales.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en las comunidades de Jolcacualá, Chalpuyil, Muquenal, Alan K'antaja, Segundo Cololtel y Baminas pertenecientes al Municipio de Chilón; Altamirano Municipio de Jitotol; Los Plátanos Municipio de El Bosque y Majoval Municipio de Larrainzar, en el Estado de Chiapas (Figura 1).

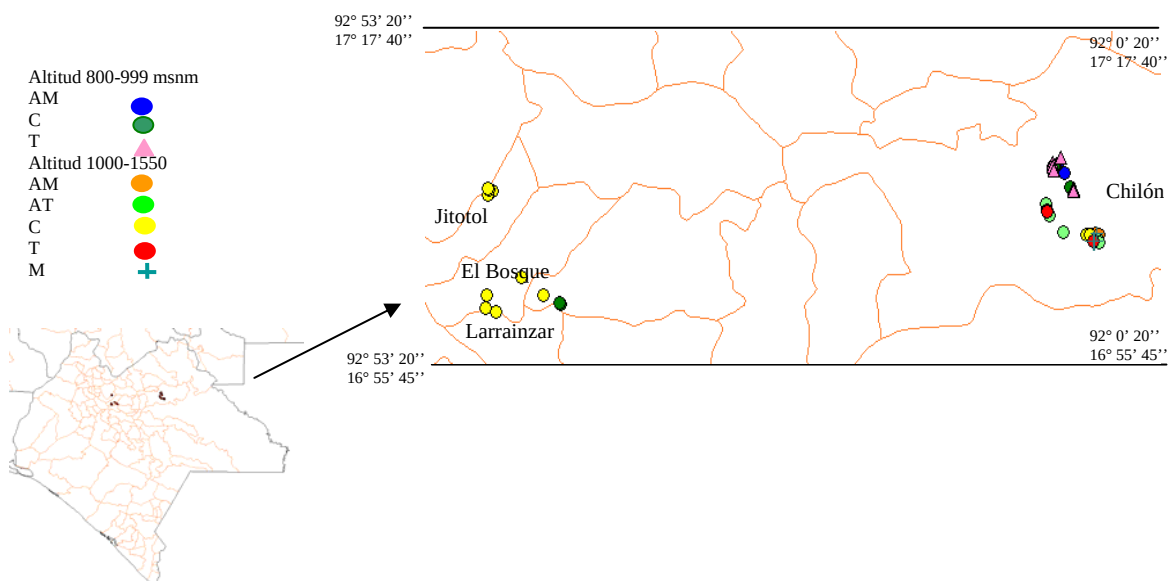


Figura 1. Localización de las parcelas. AM (Acahual mejorado), C (Cafetal), T (Taungya), AT (Acahual tradicional), M (Milpa).

El Municipio de Chilón se ubica al noreste del Estado de Chiapas. Presenta un clima cálido a semicálido húmedo (A) C (m); la altitud es de aproximadamente 1000 m con una precipitación pluvial media anual de 3087 mm (García, 1973).

El Municipio Jitotol se ubica en las montañas del Norte del Estado, a una altitud de 1660 m aproximadamente. Su clima es cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano con una precipitación media anual de 1800 mm.

El Bosque se localiza en las montañas del oriente, resultando un relieve muy variado. La Cabecera Municipal se ubica a una altitud de 1080 m con una

temperatura media anual de 22.5° C y una precipitación pluvial de 2500 mm distribuidas en casi todo el año. El clima es cálido húmedo.

Larraizar se ubica a una altitud de 1900 m, en las partes más altas se encuentran a los 2500 m, mientras que las partes más bajas se ubican a los 1600 m. Tiene una precipitación pluvial de 1200 mm presentando abundantes lluvias en el periodo de mayo a octubre. Presenta una temperatura media anual de 18°C.

5.2. Descripción de sistemas agroforestales

En total se realizó el análisis de 44 parcelas, en dos rangos de altitud. Zona baja (800-999 m) y zona alta (1000-1550 m). En la zona baja se analizaron los sistemas de acahual mejorado, cafetal y taungya con un total de 3, 8 y 7 parcelas respectivamente. Se analizaron un total de 18 parcelas en la zona baja. En la zona alta se analizaron los sistemas de acahual mejorado, acahual tradicional, cafetal, taungya y milpa con un total de 3, 5, 13, 2 y 3 parcelas respectivamente, con un total de 26 parcelas analizadas en la zona alta.

Se realizaron recorridos en las parcelas y se analizaron los componentes de los sistemas que son todas aquellas especies vegetales que intervienen dentro del sistema, así como aquellos elementos como suelo, agua y demás elementos que intervienen en los sistemas estudiados.

Se realizó una entrevista por cada parcela, siendo en total 44 mediante formatos ya estructurados. Se registraron procesos de cambio que se han dado en los sistemas, la estructura de las especies arbóreas y arbustivas, especies encontradas en los sistemas y manejo cultural que realizan en las parcelas. Así, como el funcionamiento general del agroecosistema con los componentes, las relaciones entre ellos, entradas y salidas de productos y la superficie y el cultivo principal en la parcela.

Para caracterizar los sitios de estudio se utilizaron los indicadores de altitud, pendiente, forma del terreno, clasificación tradicional de suelo, pedregosidad, drenaje y nivel de erosión. La pendiente fue medida con un clinómetro. Con la ayuda de un GPS se obtuvo el posicionamiento geográfico así como la altitud de cada parcela.

5.3. Variables evaluadas

Para conocer las características físicas y químicas del suelo en los SAF; se evaluaron las siguientes variables dependientes: compactación, materia orgánica, densidad aparente, espacio poroso, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Se contó el número de plántulas de árboles, juveniles (diámetro a la altura de pecho de 2 a 9.9 cm) y la riqueza arbórea (No. Especies/ superficie).

5.4. Muestreo de suelos y análisis

Dentro de cada parcela se seleccionó un área de 1000 m². Se definieron 16 sitios al azar *in situ* para determinar el pH con un potenciómetro; la compactación del suelo medida *in situ* con un penetrómetro de bolsillo que determina la resistencia del suelo a la penetración; posteriormente se tomó una muestra por cada parcela compuesta por 9 submuestras de suelo a una profundidad de 30 cm, las cuales fueron secadas, molidas y tamizadas en malla 10 y malla 40 para los análisis en laboratorio en los que se determinó densidad aparente (método de la probeta), materia orgánica (Walkley y Black), nitrógeno (microKjeldahl con ácido salicílico), fósforo (método de Olsen), potasio, calcio, magnesio (método de acetato de amonio 1N pH 7.0). Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo (NOM, 2000).

5.5. Muestreo de plántulas, juveniles y riqueza arbórea

El muestreo de plántulas, juveniles y riqueza de especies arbóreas, se realizó dentro de la delimitación de un área de 1000 m^2 en forma circular (Figura 2) que se dividió en áreas de 125 m^2 cada octavo.

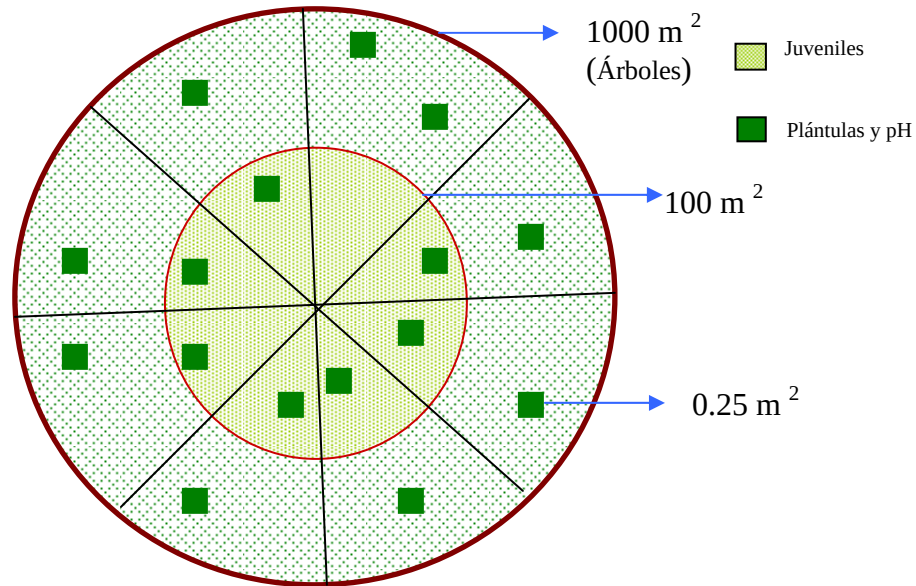


Figura 2. Área delimitada para el conteo de plántulas, juveniles y riqueza arbórea en la parcela.

Para estimar el número de plántulas en 1000 m^2 se utilizaron cuadros de aluminio con un área de 0.25 m^2 (0.5 m de lado) los cuales fueron distribuidos 16 veces al azar dentro de cada área de 1000 m^2 previamente delimitada. Dentro de cada cuadro se contó el número de plántulas. Posteriormente se extrapoló a número de plántulas en 1000 m^2 .

Para los árboles juveniles se consideraron aquellos individuos entre 2 a 9.9 cm de diámetro a la altura del pecho en una área de 100 m^2 de cada parcela. Para el análisis de esta variable los datos fueron extrapolados a juveniles por hectárea.

Para conocer la riqueza arbórea, se contó el número total de especies encontradas en 1000 m^2 .

5.6. Análisis de datos

Los datos que se obtuvieron de todos los parámetros evaluados se analizaron mediante el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 (2002). Se realizó el análisis de varianza por altitud para determinar diferencias significativas entre los sistemas agroforestales evaluados y comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$) (Steel y Torrie, 1998). Se realizaron análisis de correlación entre las variables del suelo y las variables de vegetación.

VI. RESULTADOS

6.1. Descripción de los sistemas agroforestales

6.1.1. Acahual mejorado

Los acahuales o barbechos mejorados son aquellos sistemas en donde los campesinos previamente han cultivado maíz y que, debido a la pérdida de fertilidad y los bajos rendimientos se dejan en descanso, dando lugar a la vegetación secundaria o acahual. Nair (1997) lo clasifica de acuerdo a la naturaleza y arreglo de sus componentes en un sistema agrisilvícola con un arreglo espacial separado (dominio del tiempo). Uno de los objetivos fundamentales de estos sistemas bajo el esquema del proyecto *Scolel' té* es el enriquecimiento con especies maderables. En este planteamiento se cree que además de los beneficios ambientales generados por dejar el área en descanso se tendrán beneficios por la obtención de madera a largo plazo, además de que en estos sistemas no se descarta la posibilidad de adquirir otros productos como leña, plantas medicinales, hongos y frutos de recolección, que satisfagan las necesidades de los campesinos.

Las parcelas evaluadas se encuentran en rangos de altitud que van desde los 828 hasta los 1350 m, con pendientes de 16 a 50 %, en los análisis realizados para los sistemas de acahuales mejorados se encontraron texturas de franco, franco arcillosas y franco-arenosas.

Con base a las observaciones realizadas en campo los terrenos están en laderas, no se observó pedregosidad, el nivel de drenaje es bueno y no se observaron signos visibles de erosión. La superficie destinada para este sistema es variable, ya que el área con la que cuenta cada campesino va de 2 a 10 ha en promedio, por lo que el área destinada para descanso depende de la disponibilidad de más tierra para realizar otras actividades como sus milpas o tener un huerto que le provea de frutales o alguna otra actividad agropecuaria.

De las seis parcelas estudiadas, cinco fueron de 1 ha excepto una, con una superficie de 2500m². El fin de introducir especies maderables como cedro (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en la zona baja y pino (*Pinus* sp.) en la zona alta en estas parcelas, es darle una fuente alternativa de ingresos económicos a las familias y recuperación de suelo a largo plazo. En los sistemas evaluados se encontró una gran diversidad de especies arbóreas y arbustivas que tienen diferentes usos por parte de los pobladores (Anexo 1). Las especies arbóreas espontáneas provenientes de la regeneración natural tienen una densidad de 300±170 árboles y arbustos por hectárea, mientras que las especies que han sido plantadas por parte del proyecto de captura de carbono tienen una densidad de 625±42 árboles por hectárea.

Los acahuales tradicionales son un ecosistema complejo, con la introducción de árboles con potencial maderable los hace aún más complejos por todas las interacciones que se presentan entre los componentes arbustivos y el componente arbóreo. Este sistema presenta más entradas al sistema como la mano de obra e insumos de manera ocasional lo que representa un impacto social importante.

Los recursos económicos son una entrada importante de estos sistemas ya que el productor debe invertir en la elaboración de brechas para la plantación, realizar las cepas, además del manejo de limpia y poda que se le da anualmente a los árboles.

Los árboles que son introducidos son proporcionados por parte del proyecto de captura de carbono que si bien no representan costo alguno para el productor es un componente esencial de estos sistemas y la mano de obra es generalmente familiar.

Los componentes que juegan un papel importante en estos sistemas son los árboles maderables, además de las especies de árboles, arbustos y herbáceas que ahí se encuentran sin ningún manejo. Las salidas están representadas por productos como leña, frutos y madera. Estos sistemas a diferencia de los demás se caracterizan por la implementación de árboles nativos con potencial maderable, el manejo posterior y por generar madera como producto con valor comercial.

En la Figura 3 se muestra un esquema del agroecosistema de un acahual mejorado.

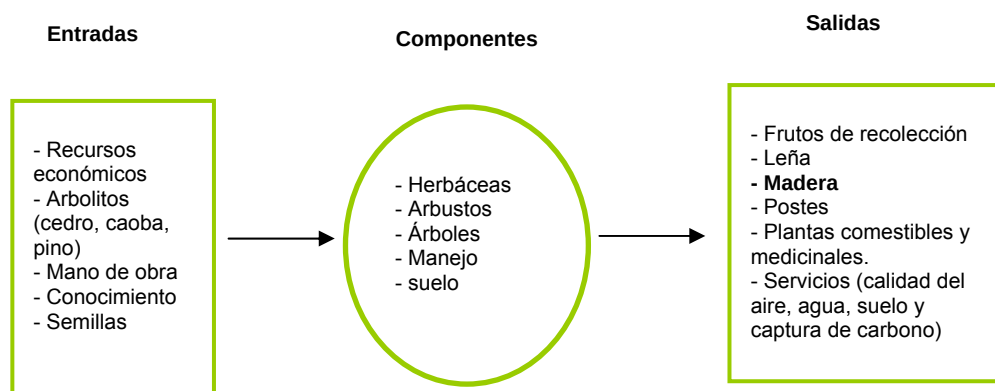


Figura 3. Componentes dentro del sistema Acahual Mejorado Tropical.

6.1.2. Acahual tradicional

Se le conoce como acahual tradicional a las áreas en donde, después de un periodo de cultivo (maíz), éstas se dejan en descanso, por largos periodos de tiempo con la finalidad de recuperar la productividad del suelo. El tiempo en descanso esta en función de la superficie con la que cuente el campesino. Se encontraron parcelas de diferentes superficies que van de los 0.5 a 4 ha. Una característica de estos sistemas es que después del cultivo del maíz o en ocasiones de algunas hortalizas la parcela se deja en recuperación natural sin ninguna intervención del campesino excepto la recolección. Estos acahuals tienen importancia social debido a la diversidad de productos que son aprovechados por las familias.

El tiempo en descanso de estos sistemas va de 3 años en adelante, esto dependiendo de la disponibilidad de áreas que se tengan para la siembra de otros cultivos. Los sistemas que fueron evaluados existe una heterogeneidad de edades que van de 3 a 7 años.

Los componentes de estos sistemas son herbáceas, arbustos y árboles con un arreglo temporal separado, siendo los árboles y arbustos el componente principal. Las parcelas que se evaluaron con este sistema de acahuales tradicionales se ubican a una altitud de los 1100 a los 1300 m, tiene una pendiente promedio de 26.4 %. En los análisis de laboratorio para los suelos de éste sistema se encontraron texturas arcillosas, franco-arcillosas. Dos de las parcelas se ubicaron en terrenos de forma plana y tres en laderas. Los niveles de pedregosidad observados son nulos al igual que los niveles perceptibles de erosión. Cabe desatacar que todas las parcelas anteriormente fueron milpas.

En la Figura 4 se representa el agroecosistema de un acahual tradicional con los componentes que lo conforman, así como la multiplicidad de beneficios que se obtienen generando un impacto ecológico en el suelo y en vegetación (Nair, 1997) además de contribuir a la captura de carbono (Soto-Pinto *et al.*, 2008; Roncal, 2006; De Jong *et al.*, 2004) e impacto social por satisfacer las necesidades básicas de la población. Las entradas a este sistema como agua, luz, CO₂ sin duda están presentes, solo que no se representan el esquema ya que por intervención del hombre las entradas como mano de obra, insumos y demás son inexistentes.

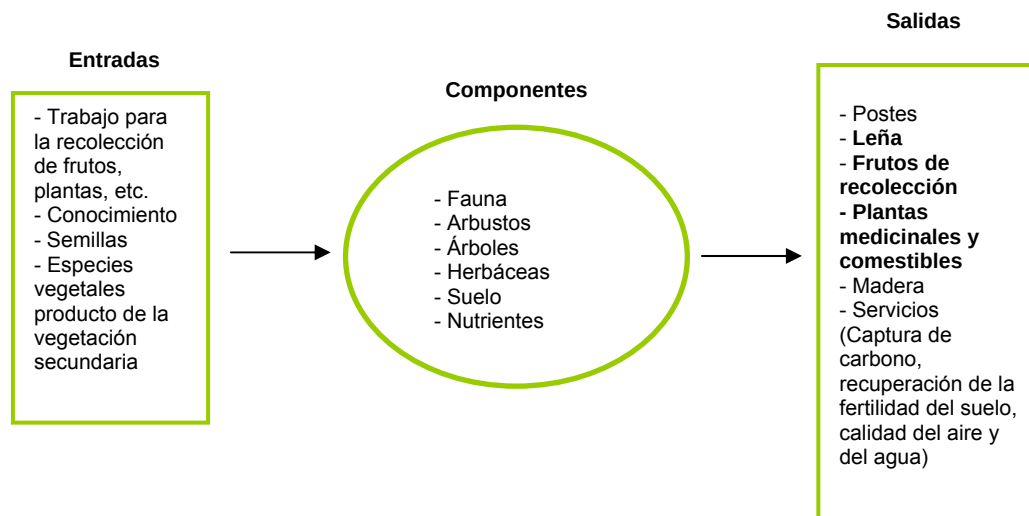


Figura 4. Sistema Acahual Tradicional.

En las parcelas se encontraron otras especies que se desarrollan como parte de la sucesión secundaria como *Liquidambar styraciflua* L., *Quercus* sp., *Annona cherimolla* Mill. y *Nectandra globosa* (Aublet) Mez, entre otras. (Anexo 4) las cuales pueden tener un gran potencial para leña, madera, postes y para captura de carbono (Soto-Pinto *et al.*, 2008).

6.1.3. Cafetal

La mayoría de los cafetales tienen una superficie que va desde 0.2 a 4 ha, mismas que tienen más de diez años con el mismo uso de suelo, lo que ha permitido una gran acumulación de materia orgánica e impactos secundarios derivados del manejo de los cafetales.

En los cafetales al igual que los sistemas de acahual mejorado se ha implementado la siembra de especies maderables tales como cedro (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King.) y roble (*Tabebuia rosea* L.), así como el manejo de sombra de las especies que tradicionalmente se usan en los cafetales como *Inga* sp. entre otras. En la Figura 5 se representan las entradas, componentes y salidas del sistema. Los cafetales se ubicaron en un rango de altitud de que va de los 835 a los 1530 m, con pendientes desde el 10

hasta el 70 %. Los suelos encontrados son de texturas arcillosas, franco, franco arcillosas y franco limosas para los sistemas de cafetal. La mayoría se ubica dentro de terrenos en forma de ladera con niveles de pedregosidad que van desde el 10 hasta el 80 %. Se observó un buen nivel de drenaje y niveles perceptibles de erosión bajos.

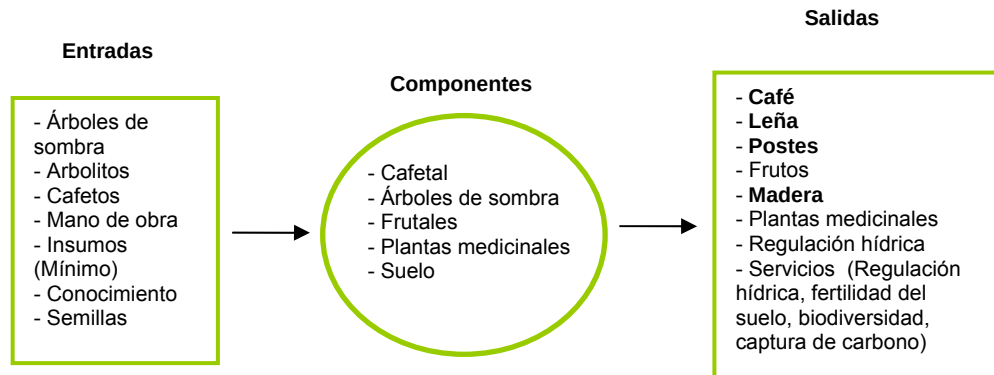


Figura 5. Esquema del sistema agroforestal del sistema café.

Los cafetales clasificados de acuerdo a la naturaleza de los componentes como un sistema agrosilvícola (Nair, 1997). Presentan un arreglo entre los componentes con densidades de población muy diversos que van desde los 1300 hasta los 2000 cafetos por hectárea. La estructura de los componentes referente al tiempo es coincidente (Nair, 1997).

Las parcelas de café tienen una alta adaptación a las condiciones climáticas y edáficas de la región. Los cafetales no representan numerosas entradas al sistema ya que los niveles de insumos son mínimos y el trabajo requerido de la mano de obra se enfoca al deshierbe y a la cosecha. Se encontró una variedad de especies arbórea con una utilidad para la población, ya sea como leña, postes, especies frutales, medicinales o comestibles (Anexo 2).

Los árboles cultivados tienen una densidad de 333 árboles por hectárea, además de 276 árboles de la vegetación natural.

6.1.4. Taungya

Los sistemas taungya, en la región resultan interesantes, ya que debido a que la cantidad de terreno de los campesinos de la región es pequeña les resulta difícil destinar un área exclusivamente para una plantación forestal, por lo que estos sistemas son de fácil adopción por la oportunidad al campesino de poder establecer sus cultivos básicos en el periodo inicial de este sistema. Nair (1997) clasifica a estos sistemas de acuerdo a la naturaleza de sus componentes como agrisilvícola. Los primeros años mientras los árboles no interfirieron la intercepción de la radiación solar se cultivó maíz, frijol y algunas hortalizas de ciclo corto, estos sistemas fueron establecidos en terrenos que anteriormente eran usados para milpas.

La mayoría de las parcelas están ubicadas en terrenos de ladera, con pendientes que van desde 10 a 40%. La principal practica de manejo que se hace son las podas; principalmente para mejorar la forma y la calidad de la madera y como control de la *Hypsiphyla grandella* que es la principal plaga de las Meliaceas. Este sistema de acuerdo a la clasificación de Nair (1997) tiene un arreglo concomitante ya que pasados los 3-5 años de plantación se tiene una plantación forestal. La densidad de plantación para este sistema es de 625 árboles por hectárea con distancias de 4 x 4 m, además de 20 árboles por hectárea de 2 o 3 especies espontáneas.

En la Figura 6 se muestra el diagrama del agroecosistema. En el Anexo 5 se enlistan las especies encontradas en este sistema que forman parte de la agrobiodiversidad del sistema, algunas de ellas con uso medicinal, leña, postes y alimento.

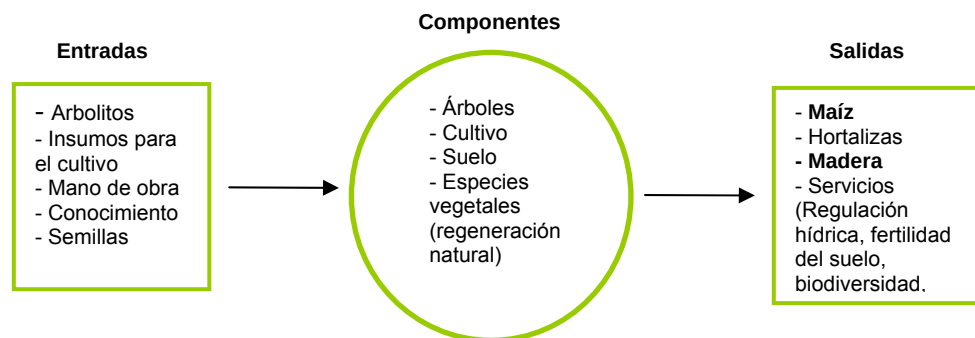


Figura 6. Esquema del sistema agroforestal Taungya.

Las especies que se plantaron para este sistema de acuerdo a la zona y al interés del productor fueron: cedro (*Cedrela odorata* L.), cipres (*Cupressus lusitanica* Mill.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King.). Una vez que los árboles establecidos se desarrollan y no permiten la entrada de luz para que se desarrollen las especies establecidas (generalmente es maíz) los productores dejan que se desarrollen otros árboles, como resultado del proceso sucesión secundaria (Anexo 5).

6.1.5. Milpa

La milpa es un sistema tradicional en la zona, se siembra dos veces al año conocido como de temporal y tornamil, se cultiva maíz, frijol, calabaza y otra hortalizas. Cabe mencionar que en estos sistemas se encuentran algunos árboles dispersos. Este sistema es practicado bajo el esquema de roza-tumba-quema. La superficie en promedio que se cultiva se ubica alrededor de 1 ha por campesino, alternando las parcelas de 3 a más años dependiendo de la disponibilidad del terreno para dicha práctica. La milpa de temporal se realiza de mayo a noviembre y la de tornamil de diciembre a abril.

El concepto milpa es manejado desde tiempos remotos. Hernández (1971) define el sistema milpa como una forma tradicional del cultivo que emplean los pequeños productores, donde se hace una combinación al azar de varios cultivos entre ellos maíz, frijol, calabaza, árboles frutales y otras especies que

son utilizadas como condimento y medicinales (Anexo 3). Las parcelas de milpas que se estudiaron se ubican a una altitud entre los 1250 a los 1310 m, con formas del terreno muy irregulares en laderas con pendientes en promedio del 50 %, sin niveles de pedregosidad perceptibles, buenos niveles de drenaje y por consiguiente bajos niveles de erosión.

En algunas parcelas los productores conservan especies arbóreas (*Quercus sp.*, *Cecropia obtusifolia*, *Inga sp.*, *Heliocarpus appendiculatus*, entre otras.), lo cual facilita la regeneración de la vegetación, de esta manera se reducen los periodos de barbecho y para usos múltiples (García *et al.*, 2001; Levy *et al.*, 2002). En la Figura 7 se puede apreciar el agroecosistema de un sistema milpa muy común en el sureste mexicano.

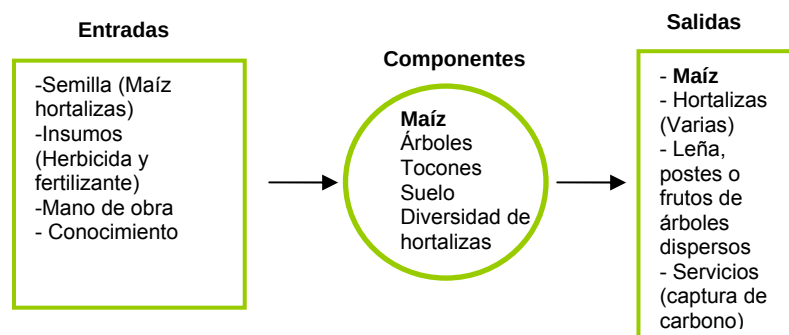


Figura 7. Entradas, componentes y salidas del sistema milpa.

Actualmente debido al incremento de la población los periodos de descanso se reducen. El manejo general de este sistema, es la roza, la siembra del maíz, deshierbes manuales o con herbicidas, fertilización (ocasional) y cosecha. En algunas de las parcelas se encontraron tocones de arbustos los cuales son utilizados como tutores para las plantas trepadoras o cultivos como el frijol, chayote, etc.

6.2. Comparación entre sistemas agroforestales en dos rangos de altitud

Una vez analizadas las variables para determinar el impacto positivo como negativo de los sistemas agroforestales sobre la recuperación del suelo, así como la capacidad que tienen en la regeneración se obtuvo lo siguiente: En los

análisis de varianza (ANOVA) mostró que en la altitud de 800 a 999 m (**zona baja**) se encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha \leq 0.05$) para pH con $P = 0.02$ con un coeficiente de variación de 3.48 en los tres sistemas evaluados Acahual mejorado, Cafetal y Taungya (Cuadro 1). Para la altitud de 1000 a 1550 m (**zona alta**), los análisis de varianza reflejan que hubo diferencias estadísticas significativas ($\alpha \leq 0.05$) entre sistemas Acahual mejorado, Cafetal, Taungya, Acahual tradicional y Milpa para las variables de compactación ($P = 0.02$), pH ($P = 0.001$), Juveniles ($P = 0.01$) y riqueza arbórea ($P = 0.045$) como se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis de varianza entre los sistemas agroforestales.

Variables	Zona baja		Zona alta	
	<i>P</i> (SAF)	Coeficiente de variación	<i>P</i> (SAF)	Coeficiente de variación
Compactación	0.74	54.71	0.02*	43.57
Materia orgánica	0.95	29.42	0.58	29.52
D. aparente	0.63	6.33	0.62	6.08
Espacio poroso	0.39	4.65	0.41	4.28
pH	0.02*	3.48	0.001*	4.12
N. total	0.94	29.55	0.64	28.65
Fósforo	0.62	111.04	0.07	60.82
Potasio	0.59	75.63	0.89	40.83
Calcio	0.55	86.11	0.13	73.17
Magnesio	0.72	63.28	0.34	82.37
Plántulas	0.16	96.52	0.13	131.67
Juveniles	0.19	80.70	0.01*	57.54
R. arbórea	0.35	41.54	0.045*	42.14

* $P > F$: Nivel de significancia en el cuál se manifiesta la variabilidad atribuida al factor.

En el resto de las variables no se encontraron diferencias significativas en el ANOVA, lo que indica que la recuperación de fertilidad del suelo mediante los sistemas agroforestales (Young, 1989), aún no es notoria al no existir diferencias entre sistemas en el resto de las variables. Dentro de las variables que fueron evaluadas para determinar este impacto, las que mostraron claras diferencias en los sistemas agroforestales en ambas zonas climáticas fueron pH, compactación, juveniles y riqueza arbórea.

6.3. Parámetros físicos del suelo

La clase textural de los suelos de las 44 parcelas son: suelos francos arcillosos (36 %), arcillosos (34 %) y francos (16 %), el resto (14 %) lo conformaron los suelos con texturas franco-arenoso, franco-arcillo-arenosas, arcillo-arenoso y arcillo-limoso (Anexo 13).

Se realizaron pruebas de Tukey $\alpha \leq 0.05$ de los parámetros físicos evaluados a fin de comparar el grado de impacto entre sistemas agroforestales sobre las propiedades físicas del suelo y su potencial para la recuperación de suelo, ya que con ello se mejora la capacidad de retención de agua, la fertilidad del suelo y reduce la pérdida de suelo (Young, 1989). En el Cuadro 2 se muestran los resultados que se obtuvieron de la comparación de medias para los sistemas agroforestales en dos rangos de altitud.

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias de parámetros físicos del suelo en sistemas agroforestales (SAF) para dos rangos de altitud.

SAF	Variables							
	Zona baja				Zona alta			
	Compactación kg cm ⁻²	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Espacio poroso (%)	Compactación	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Espacio poroso (%)
AM	1.53 ^a	4.97 ^a	1.09 ^a	58 ^a	2.47 ^{ab}	7.20 ^a	1.02 ^a	59 ^a
AT					1.22 ^b	6.82 ^a	1.06 ^a	57 ^a
C	1.19 ^a	5.18 ^a	1.09 ^a	57 ^a	2.11 ^{ab}	7.64 ^a	1.04 ^a	59 ^a
T	1.20 ^a	4.94 ^a	1.06 ^a	59 ^a	2.05 ^{ab}	5.60 ^a	1.10 ^a	58 ^a
M					3.77 ^a	5.93 ^a	1.02 ^a	61 ^a
DMS	1.12	2.44	0.11	4.42	2.14	4.73	0.14	5.7

DMS=Diferencia mínima significativa; AM=Acahual mejorado; AT=Acahual tradicional; C=Cafetal; T=Taungya; M=Milpa. Sistema agroforestal con la misma letra agrupa valores estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

6.4.1. Compactación

En la zona baja no hubo diferencias significativas al realizar la comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) en el grado de compactación entre sistemas agroforestales. Los valores encontrados fueron de 1.53, 1.19 y 1.20 kg cm⁻² para acahual mejorado, cafetal y taungya respectivamente.

En la zona alta existieron diferencias significativas tanto en el ANOVA ($P = 0.02$) y en la comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) entre sistemas, siendo únicamente el acahual tradicional el que se mostró diferente con respecto a la milpa (Figura 8). El sistema milpa presentó mayor grado de compactación, seguido del sistema acahual mejorado, cafetal, taungya y acahual tradicional con valores de 3.77, 2.47, 2.11, 2.05, 1.22 kg cm^{-2} respectivamente (Cuadro 2).

En el sistema milpa se registró el más alto valor de compactación, parámetro que se asocia al grado de resistencia a la penetración. En condición de milpa el grado de cubriendo del suelo es menor que en otros sistemas, esto provoca una mayor oxidación de la materia orgánica, una dispersión de los agregados del suelo por el efecto de la lluvia; una vez ocurrido, se produce una agregación en orden masivo, lo que da por resultado una compactación mayor en el suelo que en otros sistemas.

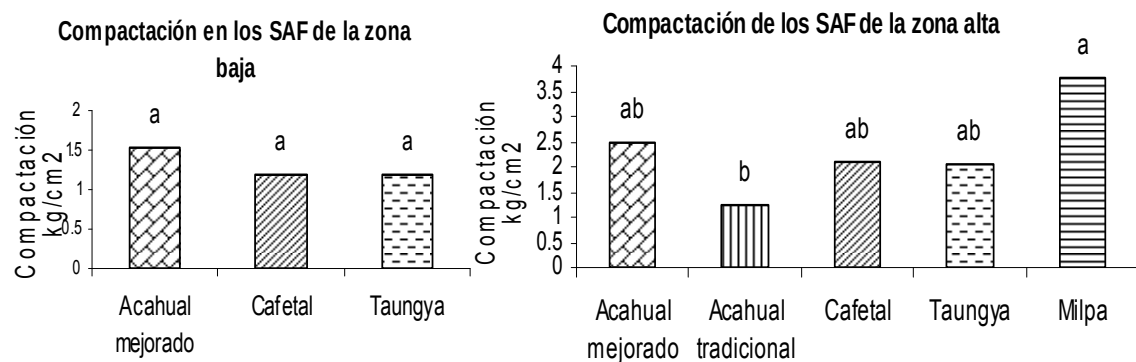


Figura 8. Comparación de medias para compactación. DMS 1.12 (zona baja) y 2.14 (zona alta).

El grado de compactación tiene un impacto negativo sobre el desarrollo radical, siendo unos de los principales problemas con efectos permanentes debido a las practicas agrícolas (Horn, 2002), provocando déficit hídrico y falta de aireación en el sistema de raíces. Cuevas *et al.* (2004) mencionan como referencia que valores superiores a 200 KPa se tienen efectos negativos en el sistema de raíces debidos a la compactación del suelo.

En este estudio para la zona baja se encontró 116.7, 117.7 y 150.1 KPa para los sistemas de cafetal, taungya y acahual mejorado respectivamente, valores que no rebasan el valor de referencia (200KPa), por lo que estos suelos aún no presentan problemas de compactación. Sin embargo, cabe destacar que para esta zona el sistema de cafetal presenta mejores condiciones que pueden ser debidas a la mayor reincorporación de la materia orgánica.

En la zona alta se encontraron 119.7, 201.1, 207, 242.3 y 369.8 KPa para los sistemas de acahual tradicional, taungya, cafetal, acahual mejorado y milpa respectivamente, valores que reflejan claramente como la compactación del suelo en el sistema milpa es superior en 85 % al valor de referencia por lo que puede ser posible que se presenten problemas de aireación y absorción en el sistema de raíces de las especies vegetales tanto arbóreas como arbustivas que ahí se establecen.

6.4.2. Materia orgánica

No se encontraron diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) entre sistemas agroforestales, para ambas zonas (Figura 9). En todos los sistemas se encontraron porcentajes de materia orgánica $> 4.9 \%$ (Cuadro 2). De acuerdo a la clasificación de Fassbender y Bornemisza (1987) en los sistemas agroforestales se encontraron suelos pobres en materia orgánica en la zona baja para los sistemas de acahual mejorado y taungya; contenidos medios de materia orgánica para el sistema de cafetal y de igual manera contenidos medios para todos los sistemas evaluados de la zona alta; y de acuerdo a la clasificación de Velasco (1983) citado por Vázquez (2008) todos los suelos de los sistemas se ubican dentro de los extremadamente ricos (>4.21). Debido a que la materia orgánica tiene una estrecha relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se le considera como un indicador de sustentabilidad de los agroecosistemas (Tiftonell y López, 2007) por lo que el aumento de la materia orgánica debido al manejo de la sombra en sistemas agroforestales puede mejorar la calidad y fertilidad del suelo (Alvarado, 2007).

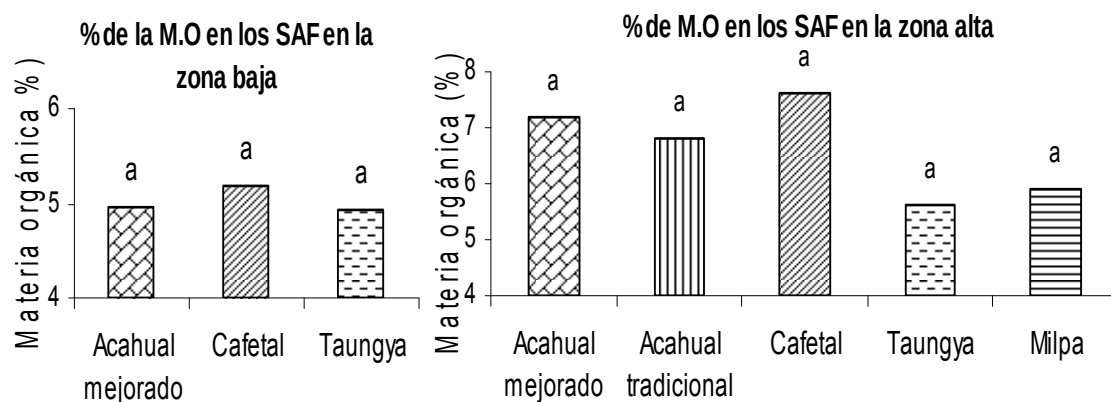


Figura 9. Comparación de medias para MO. DMS 2.44 (zona baja) y 4.73 (zona alta).

Los resultados indican que en el sistema de café bajo sombra hay mayor cantidad de materia orgánica en ambas zonas climáticas, seguido de los acahuales tanto tradicional como intervenido con el enriquecimiento de los árboles maderables. Los sistemas taungya y milpa presentaron los porcentajes más bajos de materia orgánica, lo que puede deberse al uso continuo para la producción de maíz (3 a 7 años); según Simmonds (1973) los suelos tropicales sometidos a producción pierden rápidamente la materia orgánica.

En la zona baja y alta se obtuvo un promedio de 5.03 y 6.64 % respectivamente, lo cual puede deberse al manejo y funcionamiento de los sistemas, además que a menor temperatura existe menor tasa de mineralización (Thaiutsa y Granger, 1979), por lo que se encontraron mayores cantidades de materia orgánica al no haber sufrido este proceso. Los elevados contenidos de materia orgánica pueden deberse a que en estos sistemas se aporta gran cantidad de residuos orgánicos (hojarasca), los cuales sufren el proceso de mineralización y tienden a acumularse.

En la Figura 10 puede observarse que todos los sistemas en ambas zonas climáticas tienen porcentajes muy elevados en relación a un suelo ideal (≥ 4 %).

En la zona baja se presentaron valores para acahual mejorado, cafetal y taungya valores de 4.97, 5.18 y 4.94 % respectivamente, mientras que en la zona alta presentaron valores más altos de materia orgánica, en orden de magnitud, el cafetal, el acahual mejorado, acahual tradicional, milpa y taungya con valores de 7.64, 7.20, 6.82, 5.93, 5.60 % respectivamente.

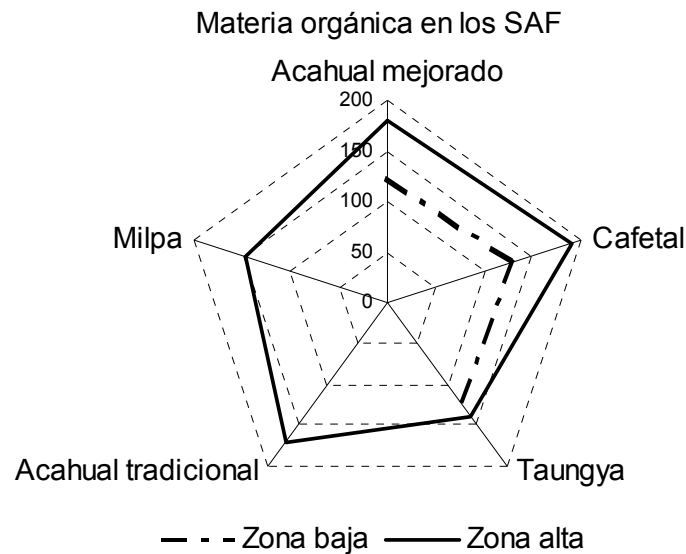


Figura 10. Materia orgánica en los sistemas agroforestales en relación con un suelo ideal (4 % de MO).

6.4.3. Densidad aparente

En los análisis realizados, no se encontraron diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) entre sistemas en ambas zonas climáticas (Cuadro 2); En la zona baja la densidad aparente estuvo entre 1.06 y 1.09 g cm⁻³ mientras que en la zona alta la densidad encontrada en los sistemas fue de 1.02 - 1.10 g cm⁻³. En ambas altitudes los resultados de densidad aparente fueron muy similares y no mostraron tendencia entre sistemas agroforestales.

6.4.4. Espacio poroso

El espacio poroso, es un indicador de la capacidad de retención de agua. Coras (1989) menciona que el porcentaje de espacio poroso en gran medida se

relaciona con la clase de textura de los suelos, cuando se tienen texturas gruesas los porcentajes de espacio poroso son bajas y a texturas más finas se tiene mayor espacio poroso. Los diferentes sistemas agroforestales tuvieron suelos con texturas franco-arcillosas, arcillosas y suelos francos y el espacio poroso osciló entre el 57 y 61 % que coincide con Coras (1989), quien menciona que para texturas arcillosas los porcentajes oscilan alrededor del 65 %. No se encontraron diferencias significativas (Tukey $\alpha \leq 0.05$) entre sistemas agroforestales (Cuadro 2) y no se observó ninguna tendencia de esta variable.

6.5. Parámetros químicos del suelo

Los análisis de varianza (Cuadro 1) no mostraron ninguna significancia estadística para los parámetros químicos del suelo: nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio; excepto para la variable de pH con $P = 0.02$ y 0.001 en la zona baja y alta respectivamente, lo que indica que los diferentes usos del suelo aún no reflejan los cambios en la fertilidad, además de que la recuperación de las propiedades físicas y químicas de los suelos puede estar influenciada por otros factores como la temperatura, composición química de la hojarasca o bien, otras variables que no fueron analizadas en este estudio.

6.5.1. Nitrógeno total

En la comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) se encontraron contenidos que van de 0.26 a 0.28 y de 0.31 a 0.40 % en la zona baja y alta respectivamente en los sistemas agroforestales. Se encontraron mayores porcentajes de nitrógeno en la zona alta (Cuadro 3).

De acuerdo a la clasificación de Moreno (1978) en cuanto a los porcentajes de nitrógeno total todos los sistemas agroforestales se ubican en la clase de los extremadamente ricos (>0.221 %). En la zona alta el sistema acahual mejorado, acahual tradicional y cafetal presentaron contenidos de nitrógeno arriba del 150 % en comparación con un suelo ideal (0.221%) (Figura 11).

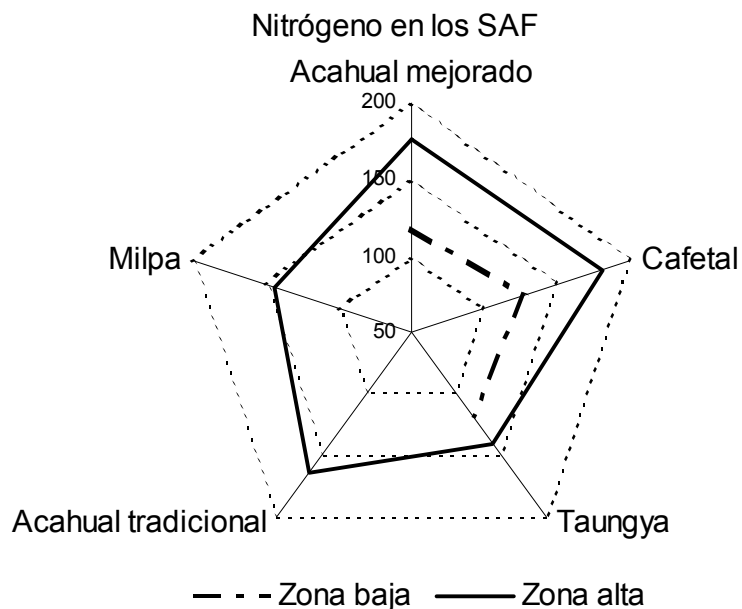


Figura 11. Nitrógeno total en los sistemas agroforestales en relación con un suelo ideal.

Todos los sistemas, principalmente los de la zona alta, tuvieron elevados porcentajes de materia orgánica presentando escenarios favorables en relación con el contenido de nitrógeno ideal (Moreno, 1978). Sin embargo, los sistemas milpa y taungya presentaron una tendencia a menores porcentajes de nitrógeno. Los contenidos de nitrógeno de los diferentes sistemas agroforestales en la zona baja fueron relativamente similares entre sistemas. Sin embargo, igual presentaron valores por arriba de un suelo ideal.

6.5.1. Fósforo

Los contenidos de fósforo observados fueron entre 1.85 a 4.6 y de 1.16 a 4.53 mg kg^{-1} para la zona baja y alta respectivamente (Cuadro 3). A pesar de no existir diferencias en el ANOVA, la comparación de medias mostró diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) únicamente para la zona alta entre los sistemas acahual tradicional (1.16 mg kg^{-1}) y el taungya (4.53 mg kg^{-1}). CSTPA (1980) clasifica como bajos aquellos suelos con contenidos de fósforo que tienen $< 5.5 \text{ mg kg}^{-1}$, esto indica que los sistemas agroforestales analizados presentan

bajos niveles de fósforo ya que ningún sistema agroforestal superó el 45 % de este elemento respecto a un suelo ideal (11 mg kg^{-1}); convirtiendo a este elemento el más limitante para la producción.

En la Figura 12 se observa que los contenidos de fósforo se ubican en un rango de 10-42 % en relación a un suelo ideal (11 mg kg^{-1}). Los sistemas taungya y cafetal presentaron los mayores contenidos de este elemento en la zona baja y los sistemas taungya y milpa en la zona alta.

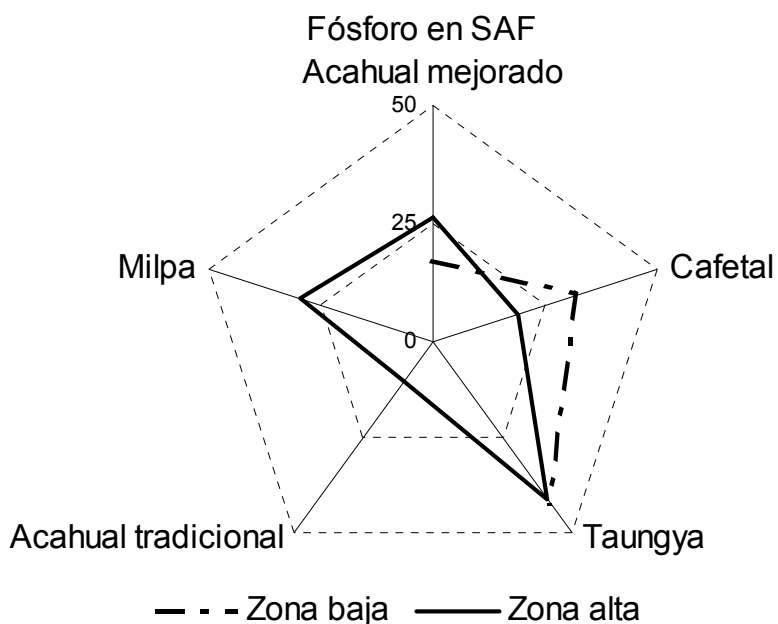


Figura 12. Fósforo en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal.

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias para las variables pH, N total, P, K, Ca y Mg. En los Sistemas agroforestales (SAF) evaluados para los dos rangos de altitud.

SAF	Variables											
	Zona baja						Zona alta					
	pH	Nitrógeno total (%)	Fósforo (mg kg ⁻¹)	Potasio	Calcio (Cmol kg ⁻¹)	Magnesio	pH	Nitrógeno total (%)	Fósforo (mg kg ⁻¹)	Potasio	Calcio (Cmol kg ⁻¹)	Magnesio
AM	6.12 ^a	0.26 ^a	1.85 ^a	0.26 ^a	6.20 ^a	3.17 ^a	6.17 ^a	0.39 ^a	2.90 ^{ab}	0.40 ^a	9.42 ^a	3.09 ^a
AT							6.08 ^a	0.36 ^a	1.16 ^b	0.41 ^a	5.95 ^a	1.82 ^a
C	5.79 ^a	0.28 ^a	3.47 ^a	0.33 ^a	10.81 ^a	3.25 ^a	6.03 ^a	0.40 ^a	2.09 ^{ab}	0.40 ^a	15.11 ^a	2.56 ^a
T	6.09 ^a	0.26 ^a	4.60 ^a	0.44 ^a	7.25 ^a	4.14 ^a	6.0 ^a	0.31 ^a	4.53 ^a	0.30 ^a	2.08 ^a	0.97 ^a
M							5.27 ^b	0.32 ^a	3.22 ^{ab}	0.44 ^a	9.44 ^a	4.67 ^a
DMS	0.34	0.13	6.64	0.45	12.25	3.73	0.29	0.24	3.20	0.37	18.28	4.85

DMS= Diferencia mínima significativa; AM= Acahual mejorado; AT= Acahual tradicional; C=Cafetal; T=Taungya; M=Milpa. Sistema agroforestal con la misma letra agrupan valores estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

6.5.3. pH

Las parcelas que se analizaron, presentan diferencias significativas entre sistemas (Cuadro 3). A pesar de la significancia en el ANOVA para ésta variable con ($P = 0.02^*$), en la Figura 13 se aprecia que para la zona baja no hay diferencias significativas al realizar la comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$). El pH encontrado en el cafetal en la zona baja se ubica dentro de los suelos ácidos y el acahual mejorado y taungya dentro de los ligeramente ácidos de acuerdo a la clasificación de Jones y Wolf modificado (1984). En la zona alta solo la milpa mostró diferencias significativas con respecto a los demás sistemas teniendo un valor de 5.27 clasificado dentro de los muy ácidos. El sistema taungya y cafetal se ubican dentro de los ácidos y los suelos del acahual mejorado y acahual tradicional se ubican dentro de los ligeramente ácidos (Jones y Wolf modificado, 1984).

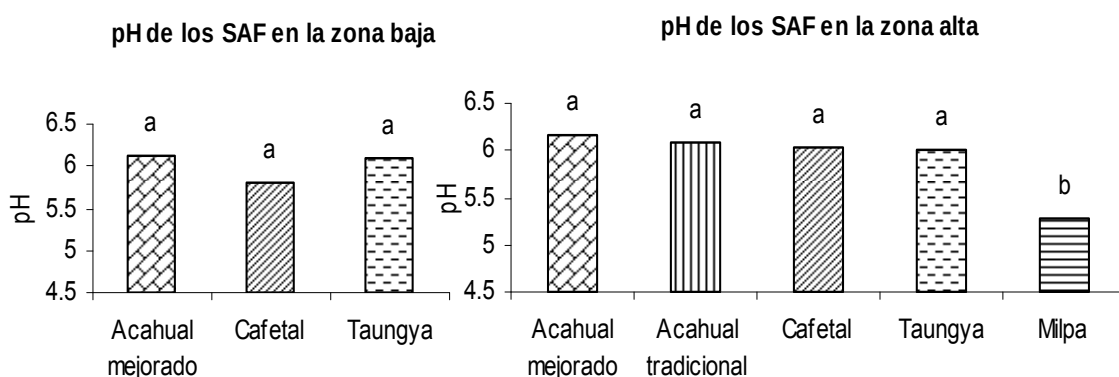


Figura 13. Comparación de medias para pH. DMS 0.34 (zona baja) y 0.29 (zona alta).

6.5.4. Cationes intercambiables (potasio, calcio, magnesio)

Los contenidos de potasio oscilaron entre 0.26 - 0.44 y de 0.30 - 0.44 Cmol kg^{-1} para la zona baja y alta respectivamente (Cuadro 3). El sistema acahual mejorado se ubica en la clase de bajo contenido de potasio, siendo el cafetal y el sistema taungya los que presentan valores medios de acuerdo a la clasificación (Etchevers *et al.*, 1971) para la zona baja.

En la zona alta, los sistemas agroforestales se ubican dentro de una clase media de acuerdo a la clasificación (Etchevers *et al.*, 1971), siendo la milpa la que posee mayor contenido que se puede atribuir a la fertilización ocasional que se realiza en las parcelas (Figura 14). El contenido de potasio fue de 43 y 73 % en relación con un suelo ideal (0.6 Cmol kg^{-1}) de acuerdo a la clasificación de Etchevers *et al.* (1971).

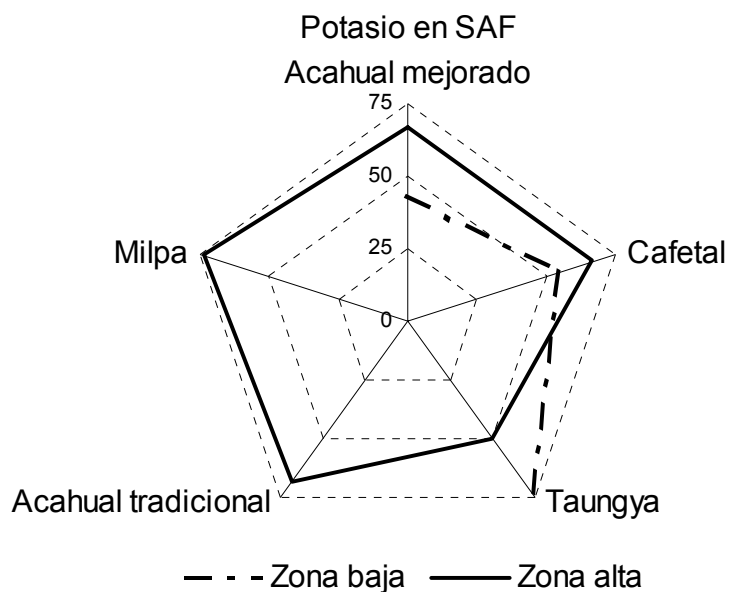


Figura 14. Potasio en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal.

Los contenidos de calcio en ambas altitudes fueron muy variables. En la zona baja se encontró un rango de 6.20 a $10.8 \text{ Cmol kg}^{-1}$; siendo los sistemas acahual mejorado y taungya quienes presentan contenidos medios y el cafetal con altos contenidos de calcio.

En la zona alta, el calcio se encontró desde los $2.08 \text{ Cmol kg}^{-1}$ para el sistema taungya hasta $15.1 \text{ Cmol kg}^{-1}$ para el cafetal. Se obtuvieron valores de 5.95 , 9.4 y $9.44 \text{ Cmol kg}^{-1}$ para acahual tradicional, acahual mejorado y milpa respectivamente y de acuerdo a la clasificación de Etchevers *et al.* (1971) son suelos con contenidos medios de calcio ($5-10 \text{ Cmol kg}^{-1}$). Las parcelas con cafetales en la zona alta tienen contenidos altos de calcio de $15.1 \text{ Cmol kg}^{-1}$,

siendo únicamente el sistema taungya el que tiene contenidos clasificados como bajos contenidos de calcio Etchevers *et al.* (1971).

En la Figura 15 se observa el contenido de calcio en relación a un suelo ideal (10 Cmol kg^{-1}) fue de 21 y 151 %, siendo el sistema de cafetal en que presentó mayores porcentajes en ambas zonas climáticas con respecto a los demás sistemas estudiados.

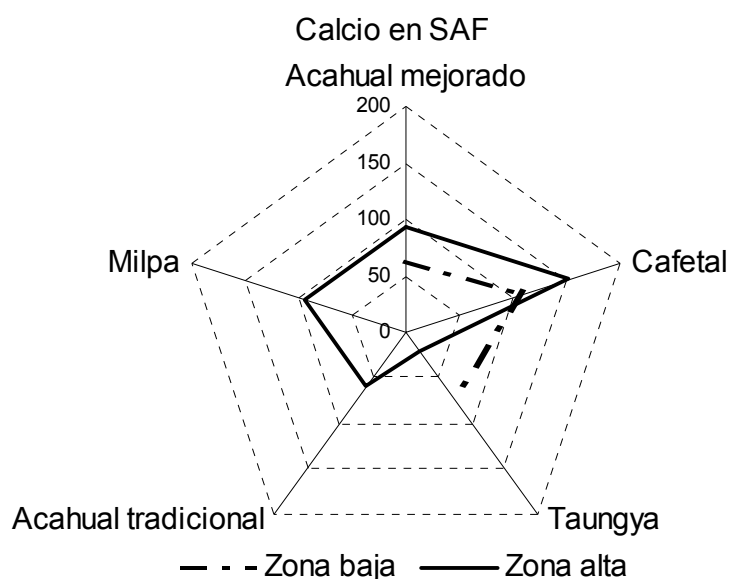


Figura 15. Calcio en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal.

Se encontraron contenidos de magnesio entre el 32 y 156 % con respecto a los contenidos de un suelo ideal (3 Cmol kg^{-1}). En la Figura 16, se observa el comportamiento de este elemento en todos los sistemas agroforestales para ser contrastados. El magnesio es un elemento muy móvil, es probable que no existiera ninguna tendencia de este elemento para los sistemas agroforestales en ninguna de las altitudes.

En la zona baja los contenidos de magnesio se consideran altos de acuerdo a la clasificación de Etchevers *et al.* (1971) quienes consideran contenidos altos de magnesio aquellos superiores a 3 Cmol kg^{-1} . En la zona alta de acuerdo a ésta misma clasificación el sistema taungya se clasifica como bajo; acahual

tradicional y cafetal se clasifica como medio y acahual mejorado y milpa dentro de la clase de los altos contenidos de magnesio.

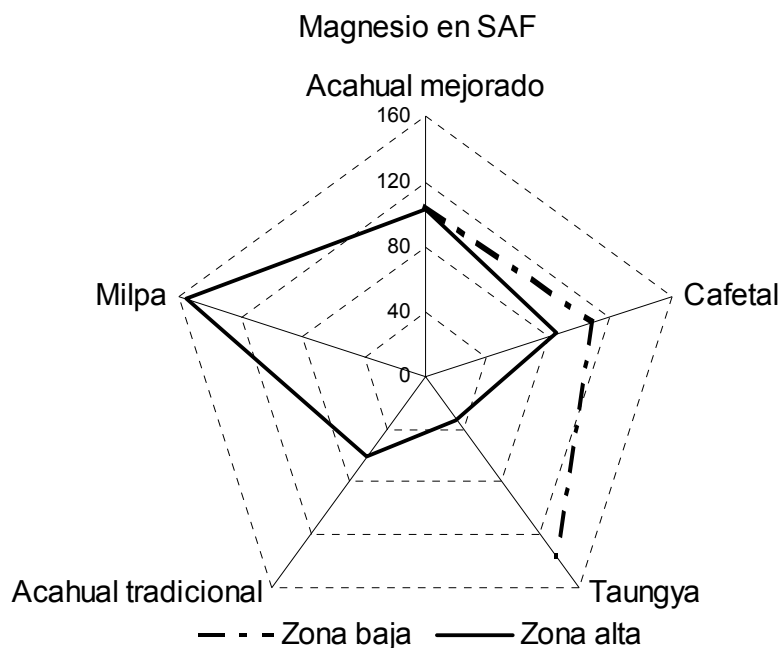


Figura 16. Contenidos de Magnesio en sistemas agroforestales en relación a un suelo ideal.

En general, podemos decir que los sistemas agroforestales presentan algunas diferencias no precisamente estadísticas en las propiedades tanto físicas como químicas del suelo, sin embargo, existe una tendencia clara en algunas de las variables en cuanto al efecto de la intensidad de uso del suelo sobre dichas propiedades. En la Figura 17 se observa claramente que el sistema acahual tradicional presenta valores más altos de nitrógeno, materia orgánica y calcio, seguido de los cafetales y de los acahuales mejorados. Las prácticas agroforestales representan un potencial para enfrentar los cambios de uso de suelo y la degradación de los mismos. Los suelos son generadores de servicios ambientales (Daily *et al.*, 1997) como el amortiguamiento y regulación del ciclo hidrológico, sustrato para las plantas, retención y provisión de nutrientes para las plantas, recepción de desechos orgánicos e inorgánicos, renovación de la fertilidad y regulación de los cambios biogeoquímicos. Así como la conservación y captura de carbono (Soto-Pinto *et al.*, S/F).

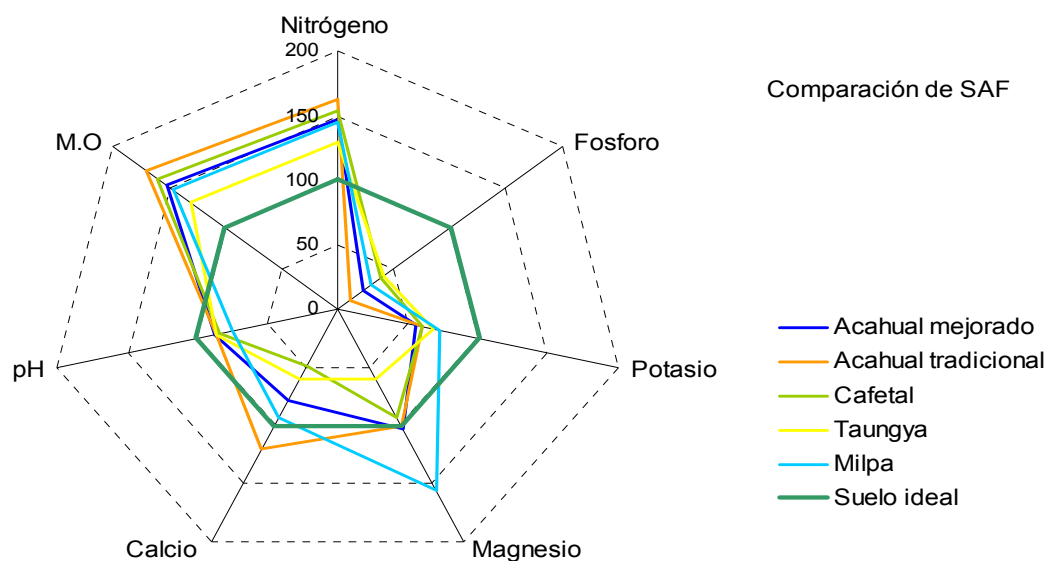


Figura 17. Diferencias entre sistemas agroforestales respecto a las propiedades del suelo.

6.6. Capacidad de regeneración de la vegetación

En el Cuadro 4 se aprecian los resultados de la comparación múltiple de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para los parámetros de plántulas, juveniles y riqueza arbórea las cuales son indicadores de la capacidad del sistema de regeneración de la vegetación.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias entre sistemas para plántulas, juveniles y riqueza arbórea.

SAF	Variables					
	Zona baja			Zona alta		
	Plántulas (1000 m ²)	Juveniles (ha)	Riqueza arbórea (1000 m ²)	Plántulas (1000 m ²)	Juveniles (ha)	Riqueza arbórea (1000 m ²)
AM	1083 ^a	2466.7 ^a	10.67 ^a	21000 ^a	4767 ^a	16.67 ^a
AT				5571 ^a	3440 ^{ab}	19.20 ^a
C	6295 ^a	1187.5 ^a	8.25 ^a	5356 ^a	2115 ^{ab}	10.62 ^a
T	3321 ^a	1071.4 ^a	7.14 ^a	2000 ^a	1150 ^b	10.50 ^a
M				6222 ^a	767 ^b	10.00 ^a
DMS	6776.8	1798.8	5.62	20997	3186.4	12.29

DMS = Diferencia mínima significativa; AM= Acahual mejorado; AT= Acahual tradicional; C=Cafetal; T=Taungya; M=Milpa. Sistema agroforestal con la misma letra agrupan valores estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

6.6.1. Número de plántulas

El número de plántulas en los diferentes sistemas agroforestales no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 4). Sin embargo, se pudo observar una tendencia que el cafetal y el acahual mejorado presentan mayor número de herbáceas en 1000 m² para la zona baja y alta respectivamente (Figura 18).

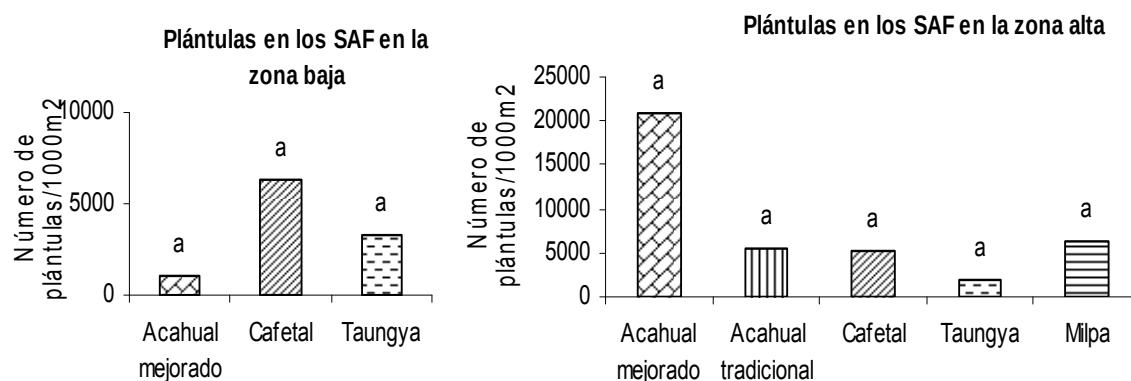


Figura 18. Comparación de medias para plántulas. DMS 6776.8 (zona baja) y DMS 20997 (zona alta).

6.6.2. Número de juveniles

De acuerdo a los análisis estadísticos, Tukey ($\alpha \leq 0.05$) no hubieron diferencias significativas entre sistemas en la zona baja. Sin embargo, el acahual mejorado presentó una tendencia hacia mayor número de juveniles en comparación con el cafetal y taungya.

Para la zona alta, en la Figura 19 que el sistema acahual mejorado presentó diferencias significativas con el sistema taungya y milpa. De esto podemos concluir que los sistemas menos perturbados tienen mayor posibilidad de recuperarse, regenerándose así bosques con la vegetación secundaria y eventualmente regenerarse los bosques los cuales tienen un gran potencial para proveer diversos servicios ecosistémicos.

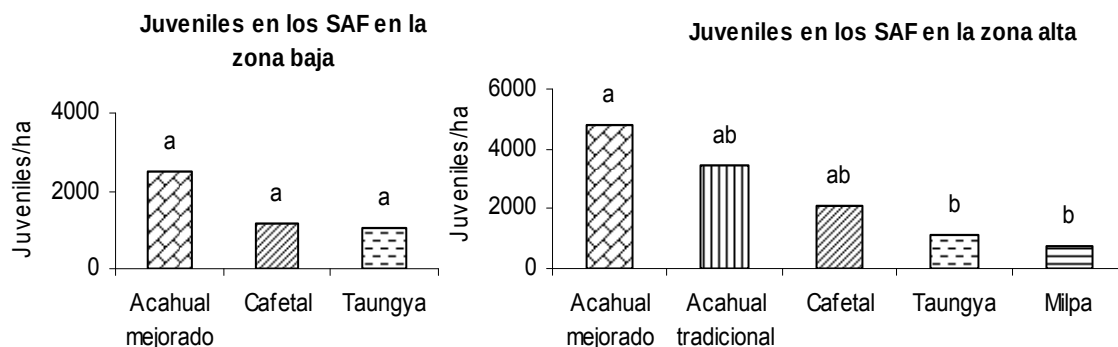


Figura 19. Comparación de medias para juveniles. DMS 1798.8 (zona baja) y DMS 3186.4 (zona alta).

6.7. Riqueza arbórea

El número de especies arbóreas en 1000 m² fue entre 7.1 a 10.67 y de 10 a 19.20 para la zona baja y alta respectivamente en promedio entre sistemas agroforestales (Cuadro 4), siendo más diversos los acahuals mejorados en la zona baja; acahuals mejorados y tradicionales los que presentaron mayor diversidad de especies arbóreas en la zona alta (Figura 20).

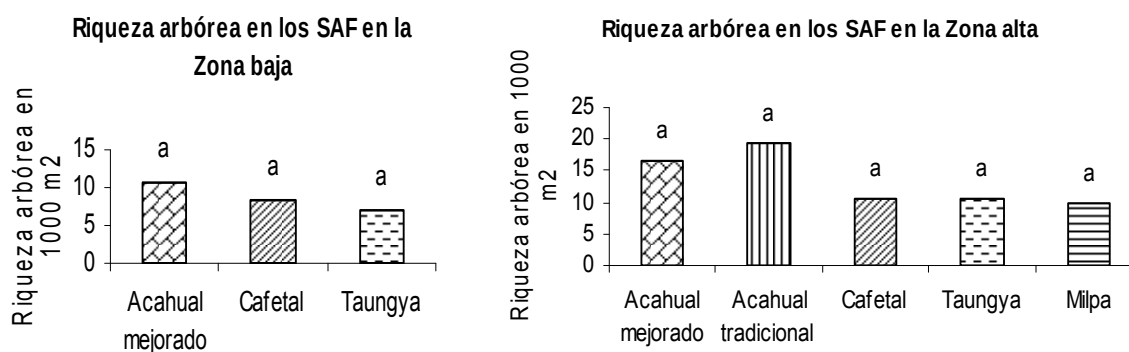


Figura 20. Comparación de medias para riqueza arbórea. DMS 5.62 (zona baja) y DMS 12.29 (zona alta).

A pesar de no existir diferencias significativas en la prueba de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) la tendencia de que los sistemas acahual mejorado y acahual tradicional representan mayor diversidad de especies arbóreas consecuentemente más servicios ambientales.

6.8. Correlaciones de Pearson entre variables

En el Cuadro 5 se muestra la correlación entre las variables evaluadas. La materia orgánica correlacionó negativamente con la densidad aparente ($R^2 = -0.45^{***}$) también, correlacionó positivamente con el nitrógeno, calcio y riqueza arbórea ($R^2 = 0.99^{***}$, 0.58^{***} y 0.38^* respectivamente). En nitrógeno correlacionó positivamente con los contenidos de calcio y con la riqueza arbórea ($R^2 = 0.59^{***}$, 0.37^*). El potasio correlacionó positivamente con los contenidos de calcio ($R^2 = 0.40^{**}$). El calcio correlacionó positivamente con el magnesio ($R^2 = 0.34^*$). El magnesio correlacionó negativamente con juveniles y riqueza arbórea ($R^2 = -0.32^*$ y -0.42^{**} respectivamente). Las plántulas correlacionaron con juveniles y riqueza arbórea ($R^2 = 0.42^{**}$ y 0.31^* respectivamente). La variable de juveniles correlacionó positivamente con la riqueza arbórea ($R^2 = 0.68^{***}$)

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables evaluadas.

Variables	Com	MO	Da	Ep	Nt	P	K	Ca	Mg	Plan	Juv	Ra
pH	-0.30*	0.20	-0.15	0.11	0.18	0.01	0.11	0.17	-0.01	-0.15	0.20	0.08
Com		0.04	-0.04	0.13	0.07	-0.12	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.14	0.02
MO			-0.45***	0.22	0.99***	0.19	0.21	0.58***	-0.13	0.07	0.25	0.38*
Da				-0.87***	-0.46***	-0.27	-0.38*	-0.22	-0.27	0.03	0.14	0.07
Ep					0.21	0.27	0.29	-0.01	0.14	-0.06	-0.19	-0.17
Nt						0.19	0.23	0.59***	-0.11	0.09	0.25	0.37*
P							0.17	0.13	-0.06	-0.13	-0.07	-0.13
K								0.40**	0.23	0.09	0.05	-0.15
Ca									0.34*	-0.08	-0.004	-0.12
Mg										-0.03	-0.32*	-0.42**
Plan											0.42**	0.31*
Juv												0.68***

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; N.S. > 0.05 : Com: compactación, MO: materia orgánica, Da: densidad aparente, Ep: Espacio poroso, Nt: Nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Plan: plántulas, Juv: Juveniles, Ra: Riqueza arbórea.

De acuerdo a los análisis de correlación de Pearson, se encontraron algunas correlaciones entre variables. La compactación correlacionó significativamente con la variable de pH ($R^2 = -0.30^*$). En la Figura 21 se observa a los sistemas agroforestales con respecto a estas dos variables.

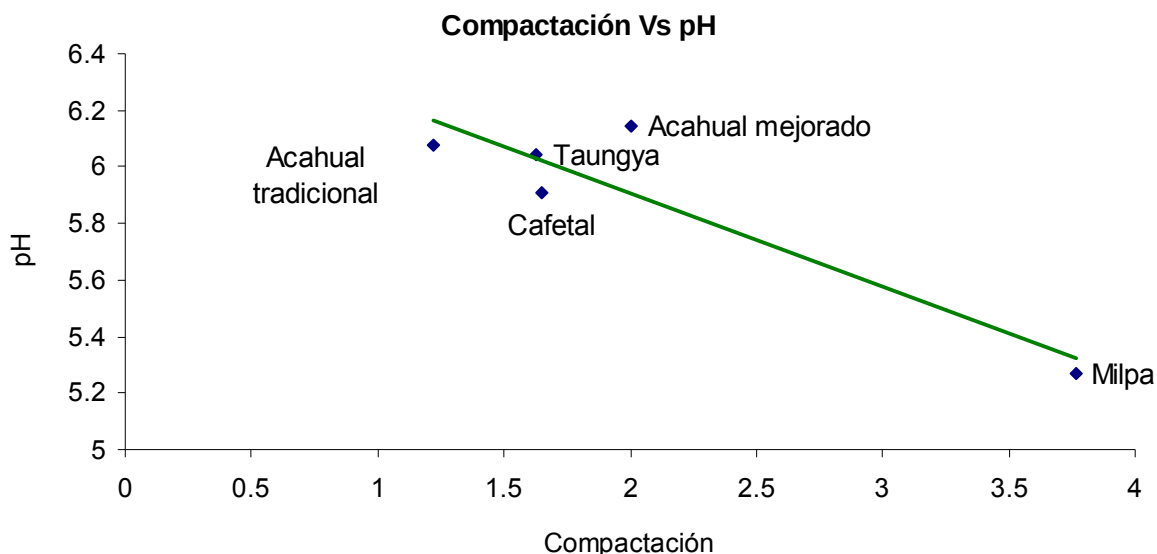


Figura 21. Línea de tendencia de las variables de pH Vs Compactación.

A medida que la compactación aumenta el pH se torna ácido, lo cual puede ser atribuido al manejo en este caso de la milpa, ya que como tiene un uso de suelo más intensivo y además la aplicación de algunos fertilizantes ocasionalmente se presentó esta tendencia. Un análisis más profundo de esta relación muestra que para la milpa y acahual mejorado estas dos variables tuvieron un coeficiente de correlación de 0.88 y 0.71 respectivamente y para los sistemas de acahual tradicional, taungya y café correlacionaron negativamente con -0.20, -0.04 y -0.02 respectivamente (Anexo 14-18).

En la Figura 22 se observa gráficamente la correlación que existió entre las variables de materia orgánica y densidad aparente. A medida que aumentan los contenidos de materia orgánica, la densidad aparente disminuye mejorando las propiedades físicas del suelo. La correlación de estas dos variables muestra que a mayores contenidos de materia orgánica la densidad aparente disminuye.

También se observa que los sistemas con menor impacto de uso de suelo presentan mayores contenidos de materia orgánica comparados con los sistemas taungya y milpa. La tendencia de los sistemas con respecto a estas dos variables se mostró de acuerdo a la intensidad de uso de suelo excepto el sistema de milpa el cual mostró mejores condiciones respecto a la variable de densidad aparente, lo cual puede atribuirse al reciente manejo que se había llevado a cabo en estas parcelas.

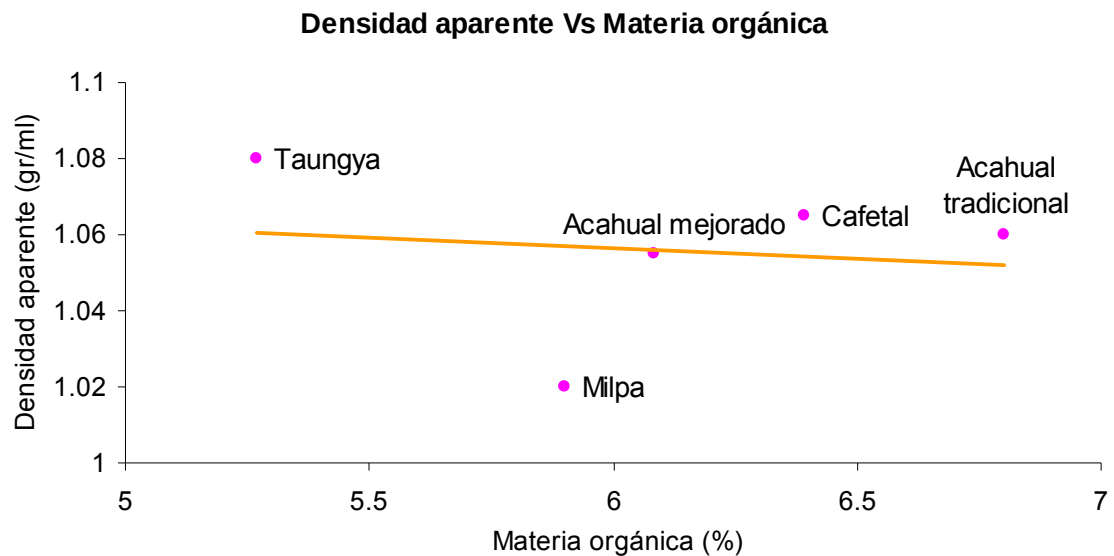


Figura 22. Línea de tendencia de las variables de densidad aparente Vs materia orgánica.

En los análisis de correlación por sistema para las variables de materia orgánica y densidad aparente para el acahual tradicional y milpa existió una correlación de -0.95 y -0.93. Para los sistemas de acahual mejorado, cafetal y taungya existió una correlación de -0.59, -0.49 y -0.14 respectivamente (Anexo 14-18).

En este estudio las variables de materia orgánica y nitrógeno total correlacionaron significativa y positivamente ($R^2 = 0.99$ *** $P < 0.001$). En la Figura 23 se aprecia claramente como esta correlación muestra la tendencia de los sistemas agroforestales en función a la intensidad de uso de suelo. El sistema taungya resultó ser el que tuvo menores contenidos de materia

orgánica y menores contenidos de nitrógeno, debido a que estos sistemas son los que tienen mayor uso previo y pudiera ser que el tiempo de establecimiento de árboles maderables y las especies utilizadas no han sido suficientes para lograr una restauración de sitio. Éstas son parcelas que primero fueron abiertas para el cultivo de milpa y debido a la pérdida de fertilidad fueron abandonadas, mismas que se retomaron para la implementación de sistemas taungya.

Con niveles intermedios de materia orgánica y nitrógeno total se ubica el sistema milpa y el acahual mejorado. Los cafetales y acahuales tradicionales fueron los que mayor porcentajes de materia orgánica y por consiguiente mayores porcentajes de nitrógeno total debido a la alta correlación que existió entre ambas variables; siendo los sistemas con menor intensidad de uso de suelo y debido a la diversidad de especies tienden a acumular mayor cantidad de materia orgánica.

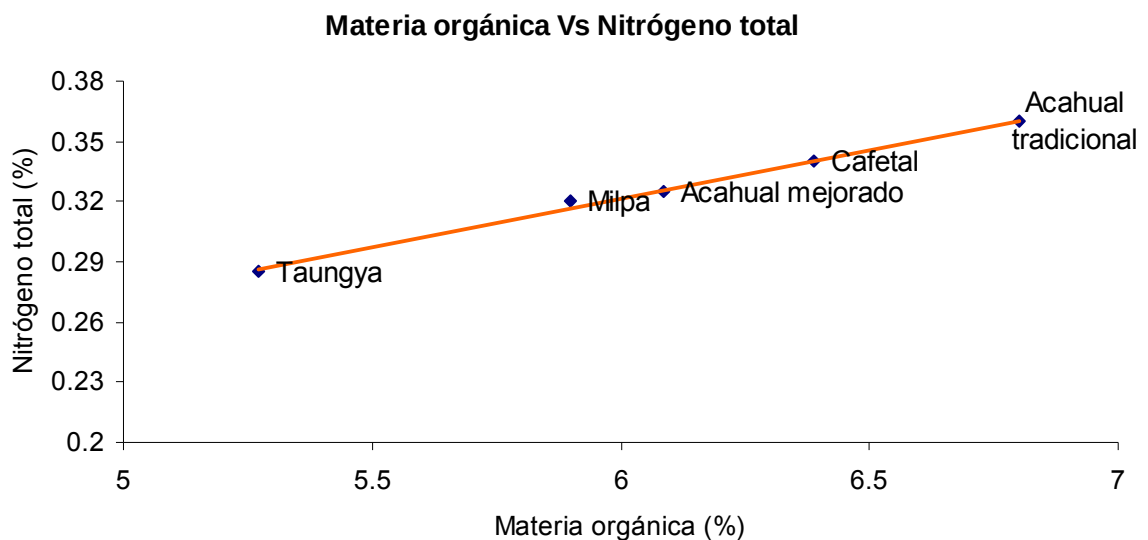


Figura 23. Línea de tendencia de las variables de nitrógeno total Vs materia orgánica.

De acuerdo a los análisis de correlación se encontró que a medida que aumentan los contenidos de materia orgánica, los contenidos de calcio se elevan considerablemente ($R^2 = 0.58^{***}$) con una $P < 0.001$, siendo el cafetal el

que tiene mejores contenidos en estas dos variables y el acahual tradicional que a pesar de tener mayores contenidos de materia orgánica, presentó niveles bajos de calcio que puede estar determinado por otros factores independientes al grado de intensidad de uso del suelo (Figura 24). En los análisis de correlación por sistema únicamente en el sistema de cafetal se encontró una correlación altamente significativa ($R^2 = 0.81^{***}$) con una $P < 0.001$, en el resto de los sistemas la correlación de éstas dos variables no es considerable (Anexo 14-18).

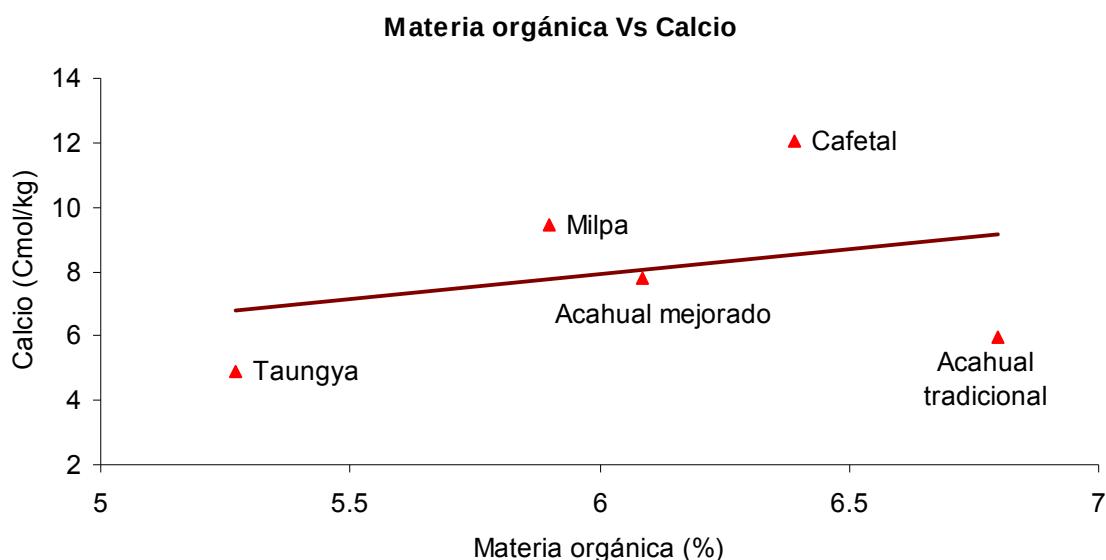


Figura 24. Línea de tendencia de las variables de materia orgánica Vs Calcio.

En la Figura 25 la correlación entre la materia orgánica con riqueza arbórea ($R^2 = 0.38^*$) con una $P < 0.05$, donde se observa claramente como en sistemas con menor impacto de uso de suelo existe mayor diversidad arbórea lo que genera una mayor acumulación de residuos orgánicos y por consiguiente numerosos servicios ambientales, como captura de carbono.

En la correlación por sistemas solo en los acahuals tradicionales se encontró una correlación de 0.87, para el resto de los sistemas no existió ninguna correlación para estas dos variables de materia orgánica con riqueza arbórea (Anexo 14 - 18).

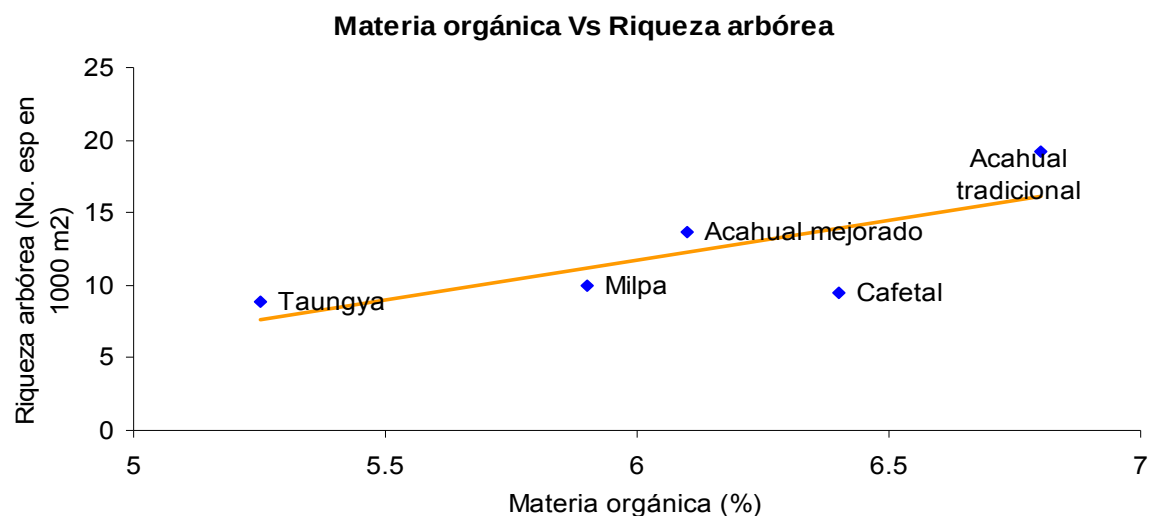


Figura 25. Línea de tendencia de las variables de materia orgánica y riqueza arbórea.

En la Figura 26 se observa la tendencia de los sistemas agroforestales respecto a las variables de contenidos de calcio y nitrógeno total. Estas dos variables correlacionaron positivamente ($R^2 = 0.59^{***}$) con una $P < 0.001$. El sistema de acahual tradicional a pesar de los altos contenidos de materia orgánica, presentó bajos valores de calcio, que puede atribuirse a la intervención de otros factores como puede ser la composición de la hojarasca.

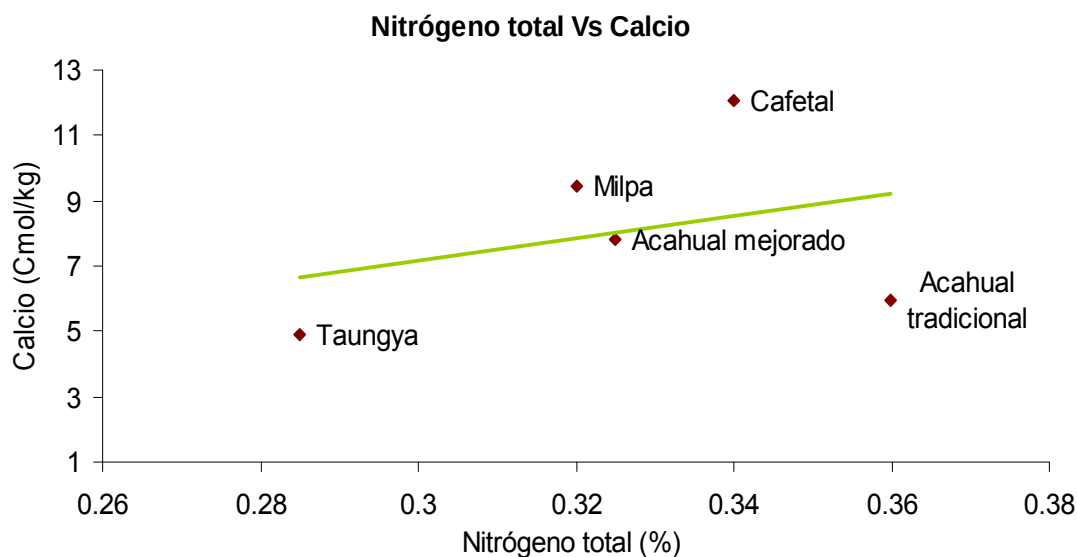


Figura 26. Línea de tendencia de las variables de Nitrógeno total y Calcio.

Las variables de nitrógeno y riqueza arbórea correlacionaron positivamente con $P < 0.05$ y ($R^2 = 0.37^*$). En la Figura 27 podemos observar la tendencia de los sistemas agroforestales con respecto a estas dos variables. Con esto se puede aseverar que a mayor riqueza arbórea en los sistemas, se encuentran mayores contenidos de nitrógeno ya que se ha demostrado que el ensamblaje de las especies modifica la distribución del nitrógeno.

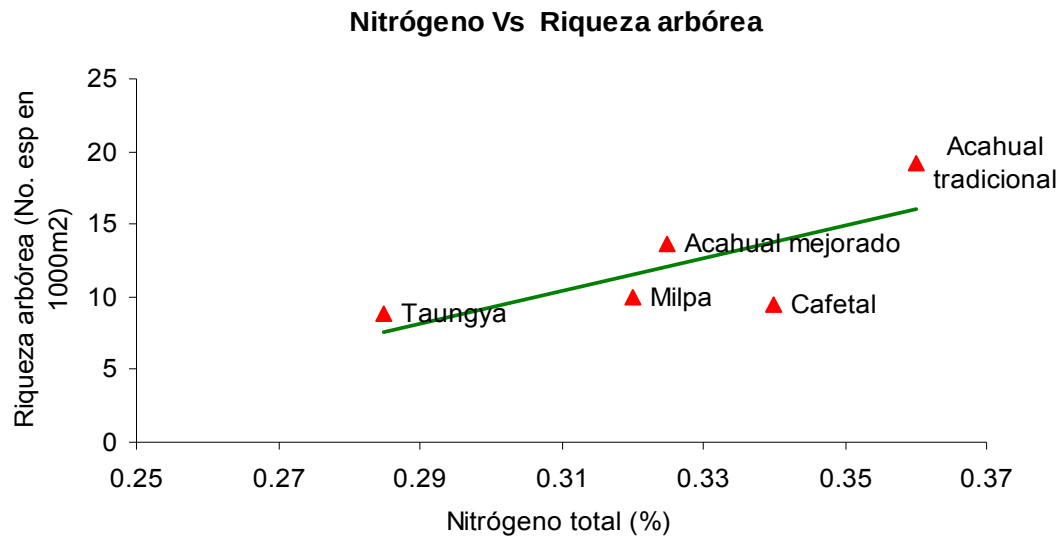


Figura 27. Línea de tendencia para las variables de nitrógeno total y riqueza arbórea.

En la Figura 28 se observa el comportamiento de las variables de calcio y potasio ya que correlacionaron positivamente ($R^2 = 0.40^{**}$) con una $P < 0.01$. A pesar de que existe una correlación entre ambas variables, no se observa una tendencia clara entre los sistemas agroforestales en función de la intensidad de uso del suelo, por lo que la correlación entre esas dos variables es independiente de la intensidad de uso de suelo y al manejo de los sistemas.

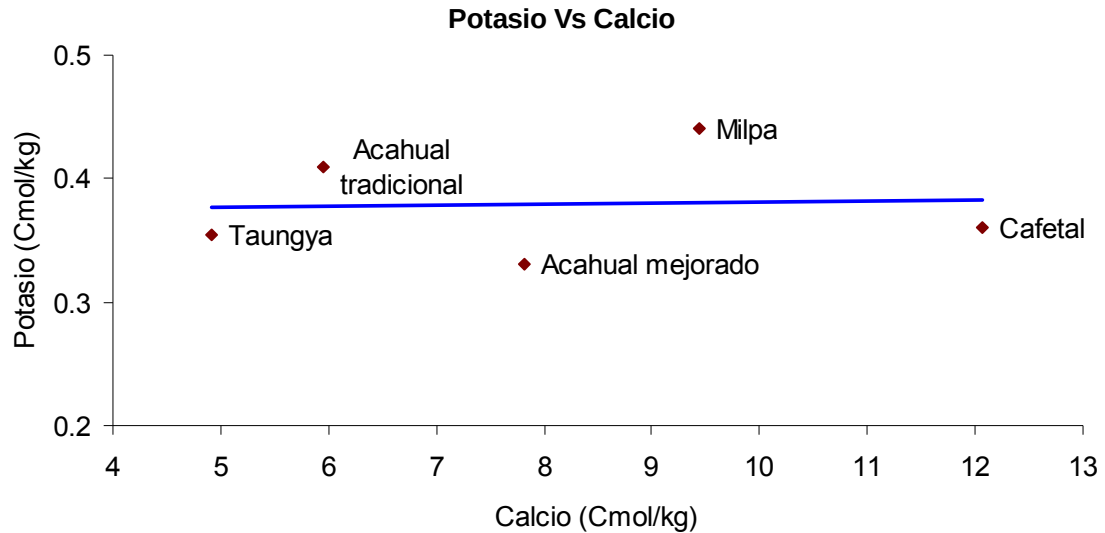


Figura 28. Línea de tendencia para las variables de calcio y potasio.

Las variables de plántulas y de juveniles correlacionaron significativamente, con una $P < 0.01$ y una ($R^2 = 0.42^{**}$). La correlación fue independiente de la intensidad de uso del suelo y del manejo de cada sistema.

En la Figura 29 se puede apreciar que a pesar de que la milpa, cafetal y acahual tradicional presentaron similar número de plántulas, no tuvieron similar número de juveniles. El acahual tradicional y acahual mejorado presentaron casi el doble de juveniles que el cafetal, la milpa y el sistema taungya. La intensidad de uso de suelo y el manejo de los sistemas afecta drásticamente la recuperación de la vegetación secundaria, al ubicarse los sistemas de taungya y milpa, con menor número de juveniles respecto a los otros sistemas.

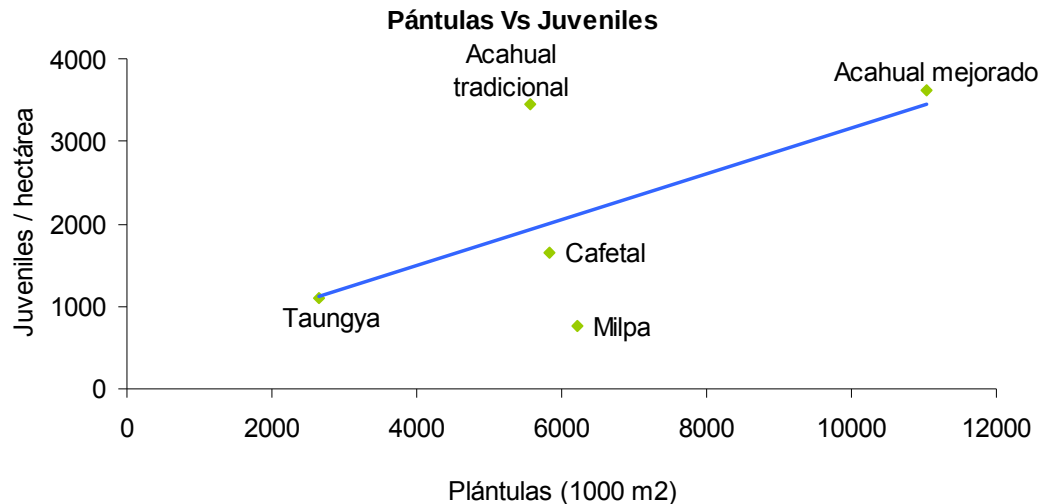


Figura 29. Línea de tendencia para las variables de plántulas y juveniles.

Las variables de número de plántulas y de riqueza arbórea, correlacionaron positivamente con una $P < 0.05$ y una ($R^2 = 0.31^*$). En la Figura 30 se observa que a pesar de que el sistema taungya, acahual tradicional, cafetal, milpa y acahual mejorado presentaron valores crecientes respectivamente con respecto al número de plántulas, los sistemas de taungya, cafetal, milpa y acahual mejorado mostraron valores muy similares de riqueza arbórea, excepto los acahuales tradicionales mostrando valores más altos en cuanto a la riqueza arbórea.

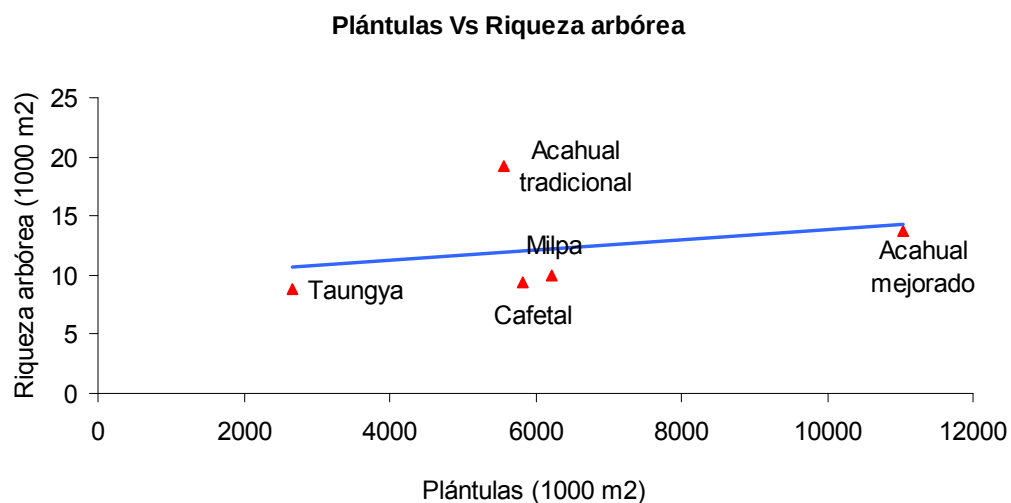


Figura 30. Línea de tendencia para las variables de plántulas y riqueza arbórea.

Las variables juveniles y riqueza arbórea correlacionaron significativamente con una $P < 0.001$ y una ($R^2 = 0.68^{***}$) (Figura 31) lo que indica que a medida que aumenta al número de juveniles en las parcelas se encuentra mayor diversidad arbórea, lo que representa un impacto ambiental positivo.

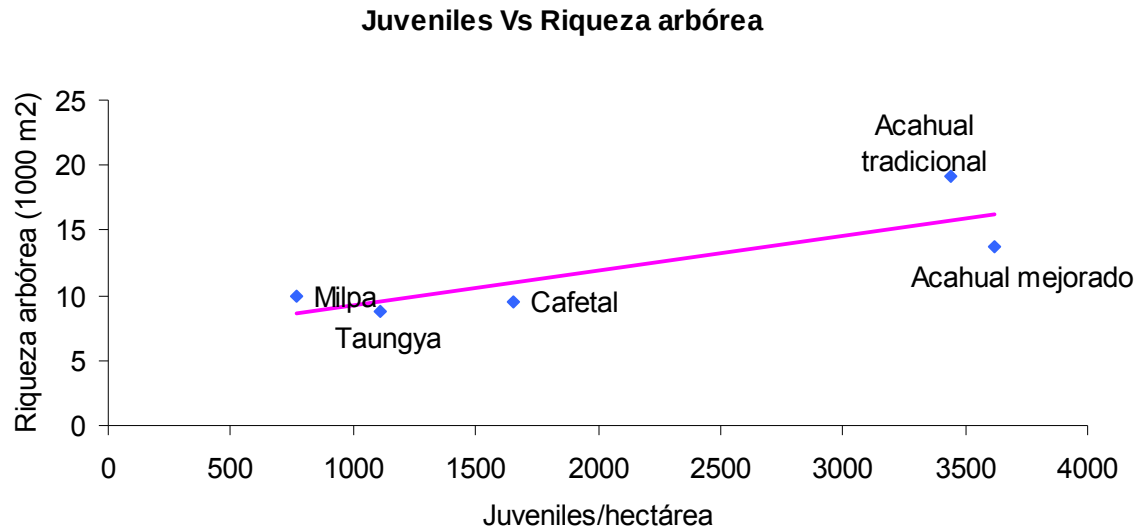


Figura 31. Línea de tendencia para las variables de juveniles y riqueza arbórea.

En los análisis de correlación por sistema (Anexo 14-18) se encontró una correlación altamente significativa ($P \leq 0.001$) para el número de juveniles y riqueza arbórea para los sistemas acahual mejorado y cafetal con una R^2 de 0.98^{***} y 0.68^{***} respectivamente. Para taungya y acahual tradicional se encontró una correlación de 0.53 y 0.29 sin significancia estadística.

VII. DISCUSIÓN

Los sistemas agroforestales con mayor diversidad y cobertura de vegetación tienen un impacto positivo sobre las propiedades físico-químicas de los suelos, tal es el caso de la compactación que influye de manera directa en el desarrollo de futura vegetación que ahí se desarrolla (Primavesi, 1984). En los análisis que se realizaron, se encontró que los sistemas con uso más intensivo y con un historial de uso continuo por más de 3 años como es el caso de la milpa, presentaron mayor grado de compactación, consecuentemente menor número de plántulas y juveniles, esto coincide con Coder (2000) quien menciona que la compactación de los suelos es uno de los problemas más relevantes en la limitación del crecimiento de los árboles de sombra en cultivo en callejones.

El grado de compactación encontrado en los sistemas puede ser debido al manejo previo y actual que se presenta en cada sistema agroforestal, ya que la intensidad de uso de suelo afecta esta propiedad física. Sin embargo, la compactación no es dependiente únicamente del grado de uso de suelo, sino que está ligada a otros aspectos como la textura (Irisarri *et al.*, 2000; Larson *et al.*, 1980), los suelos con texturas más finas son más propensos a sufrir compactación frente a los suelos con texturas gruesas, por lo que los suelos encontrados en las parcelas de estudio, pueden ser compactados con mayor rapidez debido a las clases texturales encontradas (franco-arcillosa, arcillosa y franca), esto puede ser un factor determinante en la absorción de nutrientes por las plantas arbóreas (Siemman y Rogers, 2003).

Los sistemas menos intensivos como los acahuals tradicionales tienen menor compactación por lo que se reafirma que los periodos de barbecho ayudan a recuperar las condiciones óptimas de los suelos. Doran y Parkin (1996) y Fisher y Binkley (2000) mencionan que los suelos que se desarrollan bajo una vegetación madura, presentan una alta calidad ambiental, funcionan como sistemas en equilibrio, activos y brindan servicios ambientales, lo que hace que posteriormente éstos vuelvan a ser utilizados para la agricultura siendo la roza-

tumba-quema una actividad común entre los campesinos de las regiones marginadas del sureste mexicano. Sin embargo, ante la escasez de tierra los periodos de barbecho se acortan afectando la capacidad de recuperación de sitio y sus propiedades físicas y químicas del suelo.

Por otro lado, cabe señalar que aunque no se encontraron diferencias estadísticas entre sistemas agroforestales en cuanto a la materia orgánica, si se encontró una tendencia donde a mayor intensidad de uso de los suelos, la materia orgánica disminuye. Esto coincide con lo reportado por Pennock y Kessel (1977), quien ha señalado que la perturbación de los suelos de los bosque provoca una disminución en sus contenidos orgánicos, ya que la cobertura vegetal disminuye, por consiguiente existe una mayor temperatura que favorece una mayor actividad microbiana y una rápida mineralización y por consiguiente su pérdida. La humedad y la temperatura se encuentran entre las variables más determinantes (Brinson, 1977) porque influyen tanto en el desarrollo de la vegetación como en las actividades de los microorganismos, que son factores muy críticos de la formación del suelo. Kononova (1975), llega a la conclusión de que el aumento o disminución de la temperatura y de la humedad simultáneamente, más allá de los niveles óptimos, produce una disminución de la descomposición de la materia orgánica esa puede ser una explicación que en mayores altitudes se encontraron mayores cantidades de materia orgánica debido a la lenta descomposición por las bajas temperaturas.

Los suelos de los sistemas agroforestales estudiados, de acuerdo a las clasificaciones se consideran ricos en materia orgánica. Los sistemas complejos como acahuals tradicionales y cafetales presentaron mayores contenidos de materia orgánica, que el resto de los sistemas. Estos contenidos de materia orgánica coinciden con los reportados por Romero-Alvarado *et al.* (2002) con contenidos de 6.7 ± 0.9 para sistemas agroforestales de café con sombra monoespecífica de *Inga* sp en la zona de Jitotol, Chiapas. Los altos contenidos de materia orgánica pueden deberse a las altas tasa de caída de hojarasca al

dosel, así como el reflejo de que las practicas de manejo de todos los sistemas incluyendo la milpa no han sido tan intensos como para afectar los contenidos de materia orgánica.

Los resultados obtenidos de materia orgánica muestran una tendencia similar a un estudio realizado para determinar los indicadores de degradación por la intensificación de uso de suelo, en el que se evaluaron las características de materia orgánica, actividades enzimáticas, humedad, densidad aparente y porosidad en selva, pastizal, acahual y maíz, en donde se reportaron cambios más evidentes en los suelos por una mayor intensificación en el uso. En los suelos bajo selva en comparación con maíz, encontrándose en este último contenidos más bajos de materia orgánica que el primero sugiriendo la pérdida debido a las prácticas de manejo (Cram *et al.*, 2007).

En este estudio para la zona alta se encontraron mayores porcentajes de materia orgánica en comparación con la zona baja, esto debido posiblemente a las bajas temperaturas en la zona alta, donde los procesos de mineralización podrían ser más lentos. Se ha reportado para terrenos en laderas del Estado de Oaxaca valores de 7.25 y 7.64 % de materia orgánica para sistemas de acahual y cafetal, respectivamente (Vergara, 2003), porcentajes similares a los sistemas agroforestales estudiados. Alvarado (2007) reportó valores de materia orgánica en suelos cafetaleros de 5.7 a 15.7 % y en los bosques entre 4.4 a 11.4 % para Jaltenango, Chiapas, Soto-Pinto (2000) reportó una media de 7.1 % de materia orgánica para el norte de Chiapas.

La materia orgánica tiene una estrecha relación con la densidad aparente y el espacio poroso. La materia orgánica posee menor densidad y mayor porosidad que los suelos minerales (Zhang, 1994). Al existir mayores contenidos de materia orgánica los suelos presentan menores densidades por consiguiente, condiciones físicas favorables, en comparación con densidades altas (Cavazos y Rodríguez, 1992; Carter, 2002).

Coras (1989) menciona que la densidad aparente aumenta con la profundidad en el perfil del suelo, esto se debe al bajo contenido de materia orgánica a mayor profundidad, observándose menor agregación y mayor compactación. La baja densidad en el caso de la milpa no coincide con la alta compactación que reporta la literatura lo que explicarse debido a las labores culturales recientes en los sistemas y a la incorporación de materia orgánica de árboles y residuos agrícolas. Por lo que las mínimas diferencias no son atribuidas a los sistemas sino al manejo de cada parcela ya que mediante labores culturales mejoran las condiciones físicas del suelo para tener mayor productividad de los componentes de estos sistemas.

Cram *et al.* (2007) encontraron que la densidad aparente puede ser un indicador importante para medir la degradación del suelo debida a la intensificación del uso ya que al evaluar selvas, pastizales, acahual y maíz y cultivo de azucena se encontró que la densidad aparente aumenta de acuerdo al grado de uso, encontrando un gradiente de mayor a menor densidad aparente entre: pastizal, azucena, maizal, acahual y selva.

Los sistemas agroforestales estudiados no reflejaron cambios en la densidad aparente y las pequeñas diferencias no pueden ser atribuidas a éstos; pudieran estar determinadas por la textura, los contenidos de materia orgánica y es afectada por el estado de compactación del suelo (Lal, 1976). Se espera que en sistemas agroforestales poco intensivos hubiera mejores condiciones estructurales del suelo debido a la correlación positiva entre las variables de materia orgánica y densidad aparente realizada por sistemas (Anexo14-18). Alvarado (2007) tampoco reportó diferencias significativas atribuidas al manejo en sistemas de café con diferente manejo y bosque, encontrando valores de densidad aparente que oscilan entre 0.89 y 1.29 g cm³.

A fin de determinar si los agrosistemas cafetaleros con diferente grado de perturbación conservan la misma calidad edáfica que los forestales y por lo tanto tienen la capacidad de brindar servicios ambientales similares se realizó un estudio en las regiones de Huatusco y Coatepec, reportó valores de 0.89 ± 0.11 , 1.04 ± 0.20 , 0.98 ± 0.09 , 0.88 ± 0.08 , 0.91 ± 0.05 , 0.49 ± 0.10 , 0.56 ± 0.16 de densidad aparente en sistemas rústicos, policultivo tradicional, policultivo comercial, monocultivo con sombra especializada, a pleno sol y las dos últimas de bosque mesófilo de montaña respectivamente, por lo que concluyen que el suelo ofrece un servicio ambiental como sustrato para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas en función de la perturbación por sistemas de cultivo con diferente intensidad de manejo (Geissert e Ibáñez, 2007).

En este trabajo los valores de porosidad encontrados entre sistemas agroforestales no mostraron reducción en el porcentaje de espacio poroso con la intensificación como se suponía (Cram *et al.*, 2007). La porosidad de los suelos tiene una estrecha relación con propiedades del suelo como la textura, la compactación y los contenidos de materia orgánica. En estudios recientes sobre la intensificación de uso de suelo, Cram *et al.* (2007) reportaron valores decrecientes de porosidad entre selvas, acahual, maizal, pastizal y azucena.

Los contenidos de Nitrógeno que se obtuvieron son altos y esto se debe a la acumulación de materia orgánica, además de la presencia de especies de la familia Fabaceae en todos los sistemas que son especies fijadoras de nitrógeno atmosférico por medio de bacterias. Estos resultados presentan una tendencia similar a los que se obtuvieron en las regiones de Coatepec y Huatusco en donde los cafetales a pleno sol comparados con bosque mesófilo de montaña se obtuvieron valores de 2.92 y 4.37 g kg⁻¹ respectivamente, esto indica que cuando el suelo tiene menor grado de perturbación y además está presente el componente arbóreo y el reciclamiento de los nutrientes por los componentes que en él interactúan, como el componente arbóreo, se mejora la calidad del suelo (Geissert e Ibáñez, 2007).

Los altos contenidos de nitrógeno, sobre todo en los cafetales, de igual manera coinciden con estudios realizados en el Estado de Veracruz en sistemas de cafetales, en donde la pérdida de nitratos fue baja en relación a otros sistemas sin árboles, lo que significa que los sistemas de café bajo sombra son eficientes en la conservación de dichos nutrimentos (Pérez-Nieto, 2005).

Romero-Alvarado *et al.* (2002) al comparar contenidos de nitrógeno total en cafetales con sombra monoespecífica y cafetales con sombra diversa encontraron valores de 0.3 ± 5.4 y 0.2 ± 7.2 respectivamente en el Estado de Chiapas, resultados que son similares a los encontrados en este estudio y que de acuerdo a la clasificación de Moreno (1978) son suelos ricos en contenidos de este elemento.

En cuanto a los contenidos de fósforo todos los sistemas agroforestales se clasifican como bajos no se observa ninguna tendencia en cuanto a la intensidad de uso de los sistemas agroforestales. La variabilidad de los contenidos puede deberse al manejo que se realiza en cada parcela independiente al tipo de sistema agroforestal. Además en algunos estudios se ha visto que los contenidos de fósforo varían considerablemente de acuerdo a las condiciones climáticas en que se toman las muestras en campo (Alvarado, 2007). El fósforo no tuvo ninguna correlación representativa con las variables de materia orgánica, densidad aparente, pH y nitrógeno. Geissert e Ibáñez (2007) encontraron valores en contenido de fósforo 1.75, 9.07, 5.96, 0.19, 0.68, 0.10, 2.22 mg kg^{-1} en sistema de café rusticano, policultivo tradicional, policultivo comercial, monocultivo con sombra especializada, a pleno sol y los dos últimos en bosque mesófilo de montaña respectivamente en las regiones de Coatepec y Huatusco, Veracruz. Sin embargo, en Veracruz el cafetal es más intensivamente manejado, usualmente con la aplicación de fertilizantes, lo que puede cambiar significativamente los contenidos de nutrimentos.

En Chiapas, Romero-Alvarado *et al.* (2002) encontraron que el fósforo osciló entre 4.8 ± 4.2 y 2.4 ± 2.0 ppm para café con sombra de *Inga* sp. y sistemas con sombra rustica respectivamente. Alvarado (2007) encontró valores bajos de fósforo de 1 y 4 ppm para temporada de lluvias y secas en un rango de altitud de 811 a 1044 m en suelos de bosque, resultados que coinciden con los encontrados en este estudio.

Por otro lado, se encontró que la milpa y el sistema cafetal tuvieron un pH más bajo en comparación con los otros sistemas, lo cual puede deberse a la aplicación de fertilizantes en el caso de la milpa y en el caso del cafetal los bajos niveles de pH puede deberse a los altos contenidos de materia orgánica. En general en las dos zonas climáticas para todos los sistemas agroforestales los valores de pH estuvieron entre 5.27 a 6.17 por lo que se observa una pequeña variación entre sistemas y no existe una denotada diferencia atribuida a la intensidad de manejo. Brady y Weil (1999) mencionan que la capacidad para absorber los elementos minerales que presenta la vegetación influye significativamente sobre las características de los suelos en donde se desarrolla y que el pH que influye directamente en la asimilación de los nutrimentos. Geissert e Ibáñez (2007) encontraron valores similares de pH en Veracruz.

En un estudio realizado en el municipio de Jitotol, Chiapas donde se evaluó las diferencias en las características del suelo en cafetales con sombra monoespecífica y sombra rustica se encontró que el valor de pH osciló entre 5.2 ± 0.4 y 5.3 ± 0.4 para café con sombra de *Inga* sp. y sistemas con sombra rustica respectivamente (Romero-Alvarado *et al.*, 2002), valores más ácidos a los encontrados en este estudio que puede deberse a las diferencias en los contenidos de materia orgánica ya que ésta acidifica el suelo.

Los resultados obtenidos en cuanto a los contenidos de potasio también son similares a los encontrados en la región de Huatusco y Coatepec, donde el sistema de café a pleno sol presentó mayores contenidos de potasio debido a

la constante fertilización (Geissert e Ibáñez, 2007), siendo más bajos los contenidos encontrados en este estudio. Sin embargo, los contenidos de potasio reportados para cafetales con diferente manejo y bosque en Jaltenango, Chiapas fueron similares a los encontrados en este estudio.

Los contenidos de potasio en los sistemas agroforestales fueron variables y no pudo observarse ninguna tendencia de acuerdo a la intensidad de uso de suelo, al contrario en la milpa se encontraron valores mayores de éste elemento con respecto a los demás sistemas y esto puede ser atribuido a la fertilización ocasional u otros factores independientes al manejo e intensidad de uso de suelo. Sin embargo, existió una correlación positiva con la materia orgánica (Anexo 14-18).

Romero-Alvarado *et al.* (2002) reportaron contenidos de potasio entre 8.7 ± 2.9 y 12.0 ± 4.8 meq/100 g para café con sombra de *Inga* sp. y sistemas con sombra rustica respectivamente, siendo los sistemas más diversificados los que tienen mejores contenidos de este elemento. Estos resultados son superiores a los que fueron encontrados en este estudio, además de no mostrar una tendencia similar ya que a mayor complejidad de los sistemas existen mayores contenidos de potasio, tendencia diferente a la encontrada en este estudio de comparación entre los cinco sistemas agroforestales evaluados.

De esto se deriva que la complejidad de los sistemas es muy importante para mantener altos porcentajes de materia orgánica y con ello mejorar niveles de algunos nutrientes del suelo. Además, la eficiencia de la mineralización de la materia orgánica depende del ensamblaje de las especies vegetales. En el caso de la milpa ayudaría a reducir la compactación y mejorar los valores de pH con ello la absorción de nutrientes y mayor capacidad de regeneración del sitio.

Los altos contenidos de calcio en los sistemas de cafetal están relacionados con los contenidos de materia orgánica. Vergara (2003) menciona que los iones intercambiables potasio, calcio y magnesio tienen una estrecha relación con el pH y en general a niveles más ácidos se encuentran mayores niveles de estos iones. En este estudio esa relación se dio solo para los contenidos de potasio y magnesio ya que la milpa tuvo pH más ácidos en comparación con los otros sistemas agroforestales presentando mayores valores de estos dos elementos y lo cual puede deberse al tipo de manejo dado a cada parcela.

Los resultados de calcio en los cafetales son similares a los encontrados por Romero-Alvarado *et al.* (2002). Los bajos contenidos de calcio encontrados en los demás sistemas agroforestales puede deberse a los menores contenidos de materia orgánica o a factores dependientes del manejo, vegetación asociada, entre otros.

En cuanto al número de plántulas no se encontraron diferencias entre sistemas agroforestales esto puede ser debido a que la regeneración no esta determinada únicamente por los componentes arbóreos, sino más bien se da por condiciones edafoclimáticas para la germinación y de esa manera establecerse nuevas plántulas (Vela-Correa *et al.*, 2007). Además de que la densidad de población de plántulas depende no solamente de la disponibilidad de la semilla sino también de la frecuencia de sitios libres que proporcionen las condiciones precisas requeridas por una semilla en particular (Granados y López, 2001).

La información existente sobre regeneración de bosques secundarios demuestra que las especies de plántulas se acumulan a tasas relativamente rápidas (Brown y Lugo, 1990) por lo que se encontraron un gran número de plántulas en la mayoría de los sistemas comparados. Existen muchos factores que influyen en la recuperación de la composición de especies. Para bosques tropicales húmedos, los estudios sugieren que frecuentemente la falta de

nutrientes en el suelo impide la recuperación (Holl, 1999). Ramírez-Marcial *et al.* (1996) mencionan como limitante de la regeneración de especies arbóreas es la compactación del suelo, sin embargo, en este estudio no se mostró ninguna influencia de la compactación sobre la cantidad de plántulas en el sistema.

Los estudios sobre composición de especies de bosques tropicales secundarios sugieren que las especies dominantes pueden reflejar usos previos de la tierra (Sabogal, 1992). Por otra parte, el gran número de especies que aparecen durante la regeneración de bosques tropicales indica que las oportunidades para el establecimiento de especies son altas.

No se ubicó ninguna tendencia entre sistemas para la variable de plántulas, esto puede ser porque la cantidad de plántulas después de una perturbación es muy variable, pues depende de la humedad en el suelo y de la cantidad de semillas que se encuentren en estado latente como una estrategia adaptativa de supervivencia frente a las condiciones ambientales (Granados y López, 2001). En un estudio en donde se evaluó el efecto de especies de árboles sobre las características del estrato herbáceo durante 5 años de barbecho, se encontró que los árboles tienen diferentes efectos sobre las herbáceas en la composición de las especies y en los contenidos de biomasa, por otro lado la biomasa aumenta cuando hay una reducción en la diversidad de especies (Harmand *et al.*, 2003).

En el número de juveniles, solo se encontraron diferencias en la zona alta siendo el sistema de milpa en que presentó menor cantidad de juveniles respecto a los demás sistemas agroforestales, por lo que la intensidad de uso del sistema influye sobre la capacidad de regeneración de la vegetación, Pérez y Calvo (S/F) mencionan que el deterioro del medio edáfico limita el potencial para el restablecimiento de la vegetación. La cosecha de juveniles forma parte del disturbio de los bosques en Chiapas (Martorell y Peters, 2005). Sin

embargo, esta variable correlacionó positivamente con la riqueza arbórea en los sistemas agroforestales evaluados, excepto para la milpa (Anexo 14-18).

En cuanto a la riqueza arbórea no se encontraron diferencias estadísticas en la prueba de medias. Los acahuales tradicionales tienen mayor diversidad de especies comparados con la milpa, taungya y cafetal. Si embargo, en milpas se encontró una diversidad de especies y esto se debe a que se dejan arbustos que tienen la función de tutores para los cultivos asociados, además de acelerar la sucesión secundaria cuando se abandona la milpa; en los cafetales se tiene árboles y arbustos que tienen un potencial como sombra; por otro lado los taungya, las especies presentes ya son elegidas con la finalidad de proveer madera con valor comercial a largo plazo.

A pesar de no existir diferencias en estas variables, se observó una tendencia, donde los sistemas más intensivos presentaron menor riqueza arbórea, ya que la deforestación tiene consecuencias sobre la riqueza, así como la modificación en las interacciones presentes en los trópicos (Hoffmeister *et al.*, 2005).

Se encontró una relación entre la materia orgánica y el nitrógeno, Givnish (1999) menciona que la riqueza de especies de árboles en bosques tropicales tiende a aumentar con la fertilidad del suelo. Resultados similares se encontraron en Yucatán en donde se estudió la relación que existe entre la vegetación y las propiedades del suelo en un bosque, las cuales pueden afectar el número de individuos y la riqueza de especies de las comunidades de árboles y de plántulas. Sin embargo no se observó una relación significativa entre la riqueza de especies de árboles y las propiedades químicas del suelo. No obstante, en el bosque secundario viejo el número de especies de plántulas aumentó con el incremento de nutrientes en el suelo durante la estación lluviosa (Ceccon *et al.*, 2002).

La pérdida de diversidad arbórea pueden presentarse efectos subsecuentes en la diversidad de otras especies, Gallina *et al.* (2006) en un estudio realizado en Veracruz encontró que la diversidad de mamíferos medianos se reduce si se reduce la complejidad de los sistemas de cafetal y que puede tener pérdidas hasta el 43 % en la riqueza y en la diversidad biológica.

En el norte de Chiapas se encontró una gran complejidad de los sistemas de cafetales, siendo importantes los agrosistemas de cafetal bajo sombra para como refugio de plantas leñosas y como hábitat para la fauna asociada, la densidad promedio de árboles que se encontró fue de 371.4 árboles por hectárea (Soto-Pinto *et al.*, 2001).

VIII. CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales representan una alternativa para mitigar el impacto sobre el suelo ante los problemas de degradación y cambio de uso de suelo que se presentan en el sureste mexicano, además de que brindan una serie de beneficios ambientales.

En los sistemas agroforestales que se evaluaron Acahual tradicional, Acahual mejorado, Cafetal, Taungya y Milpa en los dos rangos de altitud, se encontraron algunas tendencias en donde los sistemas menos intervenidos presentan mejores características en contenidos de materia orgánica y menor grado de compactación. En cuanto a las características químicas no existió ninguna diferencia estadística, lo que indica que el tiempo en que llevan establecidos los sistemas agroforestales aún no muestran diferencias en cuanto a los cambios de la fertilidad de los suelos al contrastarlo con sistemas como la milpa y los acahuales tradicionales.

Para el número de juveniles solo se encontraron diferencias en la zona alta. En el sistema milpa hubo una menor cantidad de juveniles, por lo que se puede concluir que los sistemas menos intervenidos tienen mayor potencial de recuperación de la vegetación y facilitar la sucesión de la vegetación secundaria.

Se encontró que los acahuales tradicionales tienen mayor diversidad arbórea, y por consiguiente son importantes para ofrecer beneficios como hábitat para otras especies vegetales o animales sobre y bajo el suelo. Los sistemas más intervenidos pierden esta característica de diversidad y por consiguiente efectos negativos en las cadenas tróficas.

Los cafetales, acahuales mejorados y acahuales tradicionales presentaron mejores características ambientales y por lo tanto su impacto sobre el suelo y las características biológicas son positivos. Sin embargo, junto con el sistema

taungya podrían ser mejorados incorporando especies arbóreas que contribuyan a aumentar la materia orgánica, el calcio y el fósforo, que fueron los nutrimentos más restringidos en los sistemas con un uso más intensivo. Esto aumentaría los efectos positivos en la absorción de los nutrimentos y en la capacidad de regeneración de las especies vegetales, con los subsecuentes beneficios ambientales generados a partir de ello.

IX. LITERATURA CITADA

- Aguado L., G.; Etchevers-Barra, J. D.; Hidalgo-Moreno, C.; Gálvis-Espinola, A. y Aguirre-Gómez, A. 2002. Dinámica del Potasio en suelos Agrícolas. *Agrociencia* 36 (1): 11-22.
- Aguilar A., V. H. 2007. Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y silvopastoriles en dos comunidades de la selva lacandona, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. México, D. F. Pp. 90.
- Aguilar-Cruz, J. A. 2008. Crecimiento de árboles maderables y evaluación del ataque de *Hypsipyla grandella* (Zeller) en sistemas agroforestales en Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México. Pp. 79.
- Aguirre D., C. M. 2006. Servicios ambientales: captura de carbono en sistemas de café bajo sombra en Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, México. México, D. F. Pp. 85.
- Alegre, J.; Meza, A. y Rocca L. 1999. Manual de barbechos mejorados. Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería, Pucallpa, Perú. En línea. <http://web.catie.ac.cr/informacion/RAFA/rev27/comoh1-a.htm> consultado en Junio, 2008.
- Altieri, M. y Yurjevic, A. 1991. La Agroecología y el Desarrollo Rural Sostenible en América Latina. *Agroecología y Desarrollo*. CLADES. 2 (1):25-36.
- Alvarado R., J. C. 2007. Sistemas de producción de café y su impacto sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en Nueva Palestina,

Jaltenango, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas, México.

Arango A., M. A. 2007. Zonificación agroecológica del café en Puerto Rico y análisis estructural y de composición de las especies arbóreas presentes en el agroecosistema cafetalero. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico. Pp. 113.

Bandy, E. D.; Garrity, P. D. y Sánchez, P. 1993. The worldwide problem of slash and burn agriculture. *Agroforestry Today* 5(3): 2-6.

Batey, T., 1990. Control of compaction on the farm. A personal view. *Soil Technology* 3: 225–229.

Beer, J.; Muschler, R.; Kass, D. y Somarraba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.

Brady, N. C. y Weil, R. R. 1999. The Nature and properties of soil. 12th edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, N. J. Pp. 639.

Brinson, M. M. 1977. Decomposition and nutrient exchange of litter in an alluvial swamp forest. *Ecology* 58: 601-609.

Browder, J. O.; Wynne, R. H. y Pedlowski, M. A. 2005. Agroforestry diffusion and secondary vegetation forest regeneration in the Brazilian Amazon: further findings from Rondônia Agroforestry Pilot Project (1992-2002). *Agroforestry Systems* 65 (2):99-111.

Brown, S. y Lugo A. E. 1990. Tropical Secondary forest. *Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32.

- Cannell, M. G. R.; Van Noordwijk, M. y Ong, C. K. 1996. The central agroforestry hypothesis: the tree must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems* 34 (1): 27-31.
- Cardona C., D. A y Sadeghian, S. 2004. Caracterización de la fertilidad de suelos en monocultivos de café (*Coffea arabica*) y en asociación con Guamo (*Inga* sp.). *In* Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. (Cartagena de Indias, Colombia, 2004). Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. Pp.63.
- Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy J.* 94, 38–47.
- Cavazos, T. y Rodríguez, O. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Editorial trillas: ESA Hermanos Escobar. México, D. F. Pp.99.
- Ceccon, E.; Olmsted, I.; Vázquez-Yañez, C. y Campos-Alves. 2002. Vegetación y propiedades del suelo en dos bosques tropicales secos en diferente estado regeneracional en Yucatán. *Agrociencia* 36: 621-631. 2002.
- Centeno E., L. R. 1999. Plantación de enriquecimiento de la vegetación secundaria en la selva lacandona, Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. Pp. 18.
- Coder, K. D. 2000. Trees and soil compactation: A selected bibliography. University of Georgia School of Forest Resources.

- Coras M., P. M. 1989. Propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 250.
- Cram, S.; Sommer, I.; Galicia, L.; Fernández, P. y Ríos, C. 2007. Indicadores de degradación por intensificación de uso del suelo. En: XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León, Guanajuato. México.
- CSTPA, 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Revised Edition. Council of soil testing and plant analysis. Athens Georgia, USA. Pp. 459.
- Cuenca, G. y Lovera, M. 1994. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in disturbed and revegetated sites from La Gran Sabana, Venezuela. Canadian Journal Botany 70: 73-79.
- Cuevas B., J.; Dörner F., J. y Ellies S., A. 2004. Elementos de física y mecánica para evaluar la sustentabilidad de suelos agrícolas. Ciencia del suelo y nutrición vegetal. 4(2): 1-13.
- Daily, G. C.; Matson P. A. y Vitousek P. M. 1997. Ecosystems Services supplied by soil. In: G. C. Daily (ed.). Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D. C. USA. Pp. 113-132.
- Del Amo, R. S. 2004. El rescate de prácticas de manejo de los recursos naturales y la reconstrucción social de una etnia asediada. IV Congreso Europeo. CEISAL de Latinoamericanistas, Bratislava.
- Del Amo, R. S. y Ramos, J. P. 1993. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. Agroforestry Systems 21 (1): 27-42

- Delgadillo R., M. y Quechulpa M., S. 2007. Inventario de carbono y caracterización de tres sistemas agroforestales en localidades de los municipios Salto de Agua, Chilón y Comitán del Estado de Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo Edo. de México, México. 95 p.
- De Jong, B., Masera, O., y Hernández – Tejeda T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. In, Cambio Climático: Una visión desde México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1ra Ed. Mexico. 369 – 380 P.
- Doran, J. W. y Parkin, T. B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *In*: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality spec. public 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. Pp. 25-37.
- Duch G., J. 1995. Disturbio forestal y agricultura milpera tradicional en la porción central del Estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp 314.
- Etchevers B. J. D.; Espinoza G. y Riquelme, E. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes, 2da. Edición. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillan, Chile. Pp. 62.
- Fassbender, H. W. y Bornemisza, E. 1987. Química de Suelos, con énfasis en suelos de América Latina. IICA, San José, Costa Rica. Pp. 420.
- Fassbender, H. W. 1992. Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestal. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Pp. 185–470.

- Fassbender, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da edición. CAITE. Turrialba. Costa Rica. Pp. 490
- Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forest: the first 100 years of succession. *Tree* 2 (3): 119-123.
- Fisher, R. F. y Binkley, D. 2000. Ecology and management of forest soil 3rd ed. John Wiley. New York. USA. Pp. 435.
- Gallina, S.; Mandujano, S. y González-Romero, A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems*. 33 (1): 13-27.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. Pp. 246.
- García E.; Jaime M.; Mejía B.; Guillén L. y Harvey C. A. 2001. Árboles dispersos dentro de cultivos anuales en el municipio de Llobasco, El Salvador. *Agroforestería en las Americas* 31:39-44.
- García-Sánchez, R. 2005. Restauración de la cubierta vegetal de los matorrales semiáridos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. En línea. Disponible en: www.dama.gob.co. Consultado en Marzo, 2008.
- Gaston, K. J. 1996. Biodiversity: a Biology of numbers and difference. Blackwell Science, Oxford. Pp. 396.
- Geissert K., D. e Ibáñez G., A. 2007. Servicios ambientales edáficos en agrosistemas cafetaleros. En Memorias. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León, Guanajuato. México.

- Geisser, D.; Martínez, R. y Meza, E. 2000. Propiedades físicas y químicas de suelo volcánico bajo bosque y cultivo en Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 2(1): 31-34.
- Givnish, T. J. 1999. On the causes of gradients in tropical tree diversity. *Journal. Ecology*. 87: 193-210.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Pp. 359.
- Granados S., D. y López R., G. F. 2001. Ecología de poblaciones vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 144.
- Grierson, P. F. y Adams M. A. 1999. Nutrient cycling and growth in forest ecosystems of south western Australia. Relevance to agricultural landscapes. *Agroforestry systems* 45 (1-3): 215-244.
- Gullison, R. E. y Hubell, S. P. 1992. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) en el bosque Chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 19: 43-56.
- Gutiérrez y Fierro. S/F. Diagnostico y Diseño Participativo en Sistemas Agroforestales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Transferencia de Tecnología. En línea. Disponible en:
<http://www.corpoica.org.co/Archivos/Foros/Conceptosbsicos.pdf>
Consultado en Marzo, 2008.
- Harmand, J. M.; Donfack, P. y Forkong N., C. 2003. Tree-root systems and herbaceous species-characteristics under tree species introduced into grazing lands in subhumid Cameroon. *Agroforestry Systems* 59 (2): 131-140.

- Harvey, C. A.; Villanueva, C. ; Villancis, J. Chacón, M. ; Muñoz, D. ; López, M.; Ibrahim, M.; Gómez, R.; Taylor, R.; Martínez, J.; Navas, A.; Sáenz, J. Sánchez, D.; Medina, A.; Vilchez, S.; Hernández, B.; Pérez, A.; Ruiz, F.; López, F.; Lang, I.; Kunth, S. y Sinclair, F. L. 2003. Contribución de las cercas vivas en la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería de las Americas* 39- 40: 30-39.
- Henríquez, C.; Killorn, R.; Bertsch, F. y Sancho, F. 2004. El uso del suelo y su efecto en la distribución espacial de las propiedades de fertilidad en un andisol de Costa Rica. *En: Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Congreso Colombiano de la Ciencia del suelo. Suelo Ambiente y Seguridad Alimentaria. Cartagena de Indias, Colombia, 2004. Memoria. Cartagena de Indias, Colombia. Pp.154.*
- Hernández X., E. 1971. Apuntes sobre la exploración etnobotánica y su metodología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Hoffmeister, T. S.; Vet, L. E. M.; Biere, A.; Holsinger, K. y Filser, J. 2005. Ecological and Evolutinary Consequences of Biological Invasion and Habitat Fragmentation. *Ecosystems* 8:657-667.
- Holl, K. D. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica* 31: 229-242.
- Horn, R. 2002. Stress strain effects in structured unsaturated soil on coupled mechanical and hydraulic processes. 17th Congreso mundial de la Ciencia del Suelo. 14-21 Agosto, 2002. Bangkok, Tailandia.

- Huang, W.; Luukkanen, O.; Johanson, S.; Kaarakka, V.; Räisänen, S. y Vihemäki, H. 2002. Agroforestry for biodiversity conservation of nature reserves: functional group identification and analysis. *Agroforestry systems* 55 (1): 65-72.
- Irisarri, J.; Di Prienzio, A. y Behmer, S. 2000. Propiedades de los suelos en su continuidad (paisaje fragmentado) por el tráfico de la maquinaria agrícola. XVII Congreso Argentino de la ciencia del suelo, Mar del Plata. Trabajo completo en CD, N° 44, 4 p.
- Jiménez, F., Muschler, R., Köpsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. CATIE/GTZ. Serie materiales de enseñanza No. 46. Pp. 187.
- Jones, B. J. y Wol, B. 1984. Manual soil testing procedure using modified (Wolf). Morgan Extracting Reagent. Benton Laboratories INC, Athens Georgia, USA.
- Kleinman, P.; Pimentel, D. y Bryant, R. 1996. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 58: 235-249.
- Kononova, M. M. 1975. Humus of virgin and cultivated soils. En *Soil components Vol. I*, ed. J.E. Gieseking. Nueva York, Springer-Verlag. pp. 475-526.
- Krishnamurthy, L. y Ávila, M. 1999. Agroforestería Básica. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México, D. F. Pp. 29-36.

- Kumar, B. M.; Kumar, S. S. y Fisher, R. F. 1998. Intercropping teak with *Leucaena* increases tree growth and modifies soil characteristics. *Agroforestry Systems* 42 (1): 81-89.
- Lal, R. 1976. Notillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Science* 40:762-768
- Lal, R. 1996. Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I. Soil physical and hydrological Properties. *Land Degradation & Development*. 7:19 - 45
- Larson, W. E.; Gupta, S. C. y Useche, R. A. 1980. Compression of agricultural soils from eight soil orders *Soil Science Society of American. Journal*. 44: pp. 450-457.
- Levy S. I.; Aguirre J. R.; Martínez, M. M. y Durán A. 2002. Caracterización del uso tradicional de la flora espontánea en la comunidad lacandona de Lacanhá, Chiapas, México. *Interciencia*. 27: 512-520.
- López G., A. M. y Williams L., G. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín de la Sociedad de Botánica de México*. No. 78. Sociedad Botánica de México, A. C. México, D. F. Pp. 7-15.
- Maldonado M., F.; Jasso M., J.; Palma L., D. J.; Salgado G., S. y González H., V. A. 2006. Dinámica de materia orgánica, P y K en suelos de sistemas agroforestales 'cedro-plátano en Tabasco, México. *Fitotecnia Mexicana* 29 (3): 223-230.

- Manfongoya, P. L.; Giller, K. E. y Palm, C. A. 1997. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter: *Agroforestry Systems* 38 (1-3): 77-97.
- Martorell, C. y Peters, E. M. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. *Biological Conservation*. 124. 199-207.
- Meza, E. y Geisser, D. 2006. Estabilidad de estructura en andisoles de uso forestal y cultivados. *Terra Latinoamericana* 24 (2): 163-170.
- Moguel, P. y Toledo, V. M. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13 (1): 11-21.
- Montagnini, F. 1992. *Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos*. Organización para Estudios Tropicales (OTS). Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. Pp. 622.
- Montagnini, F; Jordan, C. F. y Matta, R. M. 1999. Reciclaje y eficiencia de nutrientes en sistemas agroforestales. *Revista Forestal Yvyrareta* 9: 21-40.
- Montoya, G. G.; Soto-Pinto, M. L. De Jong, B. H. J.; Nelson, K.; Farias, P. Taylor, J. y Tipper, R. 1995. *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas*. Cuaderno de Trabajo 4. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. Pp. 79.
- Moreno, D. R. 1978. *Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables*. INIA-SARH, México, D.F. Pp. 22.

- Muschler, R. G. 1997. Sombra o sol para un cafetal sostenible: Un nuevo enfoque de una vieja discusión. En memoria: Decimo-octavo del Simposio Latinoamericano de Cafeticultura. San José, Costa Rica. Pp. 471-476.
- Muschler, R. G. 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, CR, Proyecto Agroforestal CATIE /GTZ. (Materiales de enseñanza No. 45). Pp. 13.
- Nair, P. K. R. 1984. Soil productivity aspect of Agroforestry. ICRAF, Nairobi, Kenya.
- Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 543.
- Narain, P.; Singh, R. K.; Sindhwal, N. S. y Joshi, P. 1997. Agroforestry for soil and water conservation in the western Himalayan Valley Region of India. runoff, soil and nutrient losses. *Agroforestry Systems* 39 (2): 175-189.
- Nobel, I. R. y Dirzo, R. 1997 Forest as human dominated ecosystem. *Science* 277 (5325):522-525.
- Norma Oficial Mexicana. 2000. Que establece las especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios Muestreo y Análisis. NOM-021-RECNAT-2000. 2a Edición. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Pp. 89.
- Ochoa-Gaona, S. y González-Espinosa, M. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography* 20: 17-42.

- Ordóñez, J. A. B. y Maser, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3-12.
- Pennock, J. D. y Kessel, V. C. 1997. Clear cut forest Harvest impacts on soil quality indicators in the mixewood forest of Saskatchewan, Canada. *Geoderma* 75:13-32.
- Pérez F., M. A. y Calvo M., E. S/F. Uso de la vegetación autóctona en restauración ambiental. Área de ecología. Facultad de ciencias. Universidad de Extremadura. Pp. 19.
- Pérez-Nieto, J.; Valdez-Velarte, E.; Hernández-San Román, M. E. y Ordaz-Chaparro, V.; 2005. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Agrociencia* 39 (4): 409-418.
- Perfecto, I. Rice, R. Greenberg, R. y Van der Voort, M. E. 1996. Shade Coffee: A disappearing Refuge for Biodiversity. *Bioscience* 46 (8): 598-608.
- Pohlan, J.; Soto, L. y Barrera, J. 2006. El cafetal del Futuro. Realidades y Visiones. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. Pp. 373-380.
- Primavesi, A. 1984. Manejo ecológico del suelo 5ª ed. Buenos Aires, Argentina "El Ateneo" Pedro García S.A. Pp. 499.
- Ramírez-Marcial, N.; González-Espinosa, M. y García-Moya, E. 1996. Establecimiento de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. en matorrales y pastizales de los Altos de Chiapas. *Agrociencia* 30 249-257.

- Ramos, J. M. y Del Amo, S. R. 1992. Enrichment planting in a secondary forest in Veracruz, Mexico. *Forest Ecology and Management* 54 (1-4): 289-304.
- Richards, P. W. 1979. *The tropical rain forests. An ecological study.* Cambridge University Press. Pp. 450.
- Rodríguez-Echeverría, S. y Pérez-Fernández, M. A. 2003. Effect of *Retama sphaerocarpa* on soil fertility and herb facilitation in a natural community in central-west Spain. *Journal of vegetation science*. 14: 807-814.
- Romero-Alvarado, Y., Soto-Pinto, L., García-Barrios, L. y Barrera-Gaytán, F. 2002. Coffee yield and soil nutrients under the shade of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 54 (3):215-224.
- Roncal G., S. M. 2006. Almacenamiento de carbono y complejidad de los sistemas agroforestales en comunidades indígenas de Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. México, D. F. Pp. 51.
- Roncal-García, S. Soto-Pinto, L. Castellanos-Albores, J. Ramírez-Marcial, N. y De Jong, B. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33 (3): 7.
- Sabogal, C. 1992. Regeneration of tropical dry forests in Central America, with examples from Nicaragua. *Journal. Vegetation Science* 3: 291-317.

- Sánchez, P. A. y Palm, C. A. 1996. Reciclaje de nutrientes y agrisilvicultura en África. Influencias de los bosques. Unasylva. 47 (185). En línea. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/w0312s/w0312s00.htm#Contents>
Consultado en Octubre, 2008.
- SAS (2002). The SAS System for Windows version 9.0 (version en Español). Copyright (C) By SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- SEMARNAT, 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2002. En línea. Disponible en:
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/
Consultado en: Marzo, 2008.
- Siemman, E. y Rogers, W. 2003. Changes in light and nitrogen availability under pionner tree may indirectly facilitate tree invasions of grasslands. Journal of Ecology 91: 923-931.
- Simmonds, N. W. 1973. Los plátanos. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Ed. Blume. Barcelona. Pp. 539. Singh, K. P. 1969. Studies in decomposition of leaf litter of important trees of tropical deciduous forest at Varanasi. Trop. Ecology 20: 292-311.
- Soil Science Society of America, 1996. Glossary of Soil Science Terms. Madison, WI, USA.
- Soriano A., A. S/F. Evaluación del impacto ambiental del sistema agroforestal Kuxur rum en el área Ch'orti', Guatemala. En línea. Disponible en:
<http://www.fao.org.gt/archivos/1178758394.pdf> consultado en Marzo 2008.

- Soto-Pinto, L. 2000. Estudio agroecológico del sistema de café con sombra en comunidades indígenas de Chiapas, México. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. Pp. 171.
- Soto-Pinto, L.; Romero-Alvarado, Y.; Caballero-Nieto, J. and Segura-Warnholtz, G. 2001. Woody plant diversity and structure of shade-grown coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. *Biología tropical* 49 (3-4): 977-987.
- Soto-Pinto, L.; Perfecto, I. and Caballero-Nieto, J. 2002. Shade over coffee: its effects on Berry borer, leaf rust and spontaneous herb in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55 (1): 37-45.
- Soto-Pinto L. 2004. Cuantificación de carbono y evaluación del impacto de sistemas agroforestales en Chiapas. Bases para el desarrollo de servicios ambientales. Fondo Sectorial de Investigación para la Educación. Convocatoria de investigación científica entre un grupo de investigación Consolidado y otro grupo de investigación en formación. Pp. 13.
- Soto-Pinto, L.; Jiménez-Ferrer, G. Vargas-Guillen, A. De Jong, B. y Esquivel-Bazán, E. 2004. Experiencia agroforestal para la captura de carbono en comunidades indígenas de México. *Forestal Iberoamericana* 1(1): 44-50.
- Soto-Pinto, L.; Jiménez-Ferrer, G. y Lerner-Martínez, T. 2008. Diseño de sistemas agroforestales para la producción y conservación. Experiencia y tradición en Chiapas, México (Inédito). El Colegio de la Frontera Sur. Pp. 118.

- Soto-Pinto, L. Anzueto, M.; Delgadillo, M.; Roncal, S.; Aguirre, C.; Mendoza, J.; Jiménez-Ferrer, G. and De Jong, B. S/F. Carbon sequestration by Agroforestry Systems in indigenous communities of Chiapas, Mexico. (Artículo en revisión para Agroforestry Systems "*Inedito*").
- Steel, R. y Torrie, J. 1998. Bioestadística: Principios y procedimientos. Mc Graw-Hill. México, México, D.F. Pp. 622.
- Thaiutsa, B. y Granger. O. 1979. El clima y la descomposición de la hojarasca en el bosque tropical. Agricultura en América Latina. Unasyuva 126:31.
- Tittonell, P. y López R., S. 2007. La materia orgánica como indicador edáfico de sustentabilidad: ¿Cómo determinar umbrales críticos?. En Memoria: XVII Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo. León, Guanajuato. México.
- Toledo, V. M. y Castillo, A. 1999. La ecología en Latinoamérica: siete tesis para una ciencia pertinente en una región en crisis. Interciencia. 24 (3): 157-167.
- Uhl, C.; Buschbacher, R. y Serrao, E. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia and patterns of plant sucesion. Journal of Ecology 73: 663-681.
- Uribe V., G. y Petit A., J. 2007. Contribución de los barbechos cortos en la recuperación de la fertilidad del suelo en milpas del Estado de Yucatán, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13 (2): 137-142.
- Vallejo *et al.* 2003. problemas y perspectivas de la utilización de leñosas autóctonas en la restauración forestal. En: J. M. Rey Benayas, T.

- Espigares Pinilla y J. M. Nicolau Ibsarra (eds). Restauración de ecosistemas mediterráneos. AEET. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá. Pp. 11-42.
- Vázquez-Alarcón A. 2008. Interpretación del análisis químico del suelo y agua. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 24.
- Vela-correa, G.; Vázquez-Martínez, B. E.; Rodríguez-Gamiño, M.L. y Domínguez-Rubio, I. 2007. Caracterización edáfica de sitios con regeneración natural de *Pinus montezumae* Lamb. En el volcán de la Malinche. Agrociencia 41: 371-383.
- Vergara S., M. A. 2003. Identificación y selección de indicadores de calidad del suelo y sustentabilidad en sistemas naturales y agrícolas de ladera en Oaxaca. Tesis Doctoral. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Pp. 215.
- Weaver, P. L. 1987. Enrichment planning in tropical America. In: J.C. Figueroa, F.H. Wadsworth and S. Branham (eds.). Management of the forest of tropical America: Prospects and technologies. Intitute of tropical Forestry, USDA Forest Service. Pp. 259-277.
- Young, A. 1989. Agroforestry for soil management. CAB International. Intenational Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). UK. Pp. 320.
- Zhang, H., 1994. Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. Soil Tillage Res. 31, 263 -275.

X. ANEXOS

Anexo 1. Especies arbóreas encontradas en el acahual mejorado.

Nombre común	Nombre científico
Zapote	<i>Calocarpum zapota</i> Merr.
Aguate	<i>Persea americana</i> Mill.
Ajoj	<i>Saurauia scabrida</i>
Atzamte	<i>Rapanea myricoides</i> (Schlecht.) Lundell
Cacaté	<i>Oecopetalum mexicanum</i> Gr. & Th.
Canajalté	<i>Piper oduncum</i> L.
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.
Chatacmut	<i>Miconia aff. ibaguensis</i> (Bonpl.) Triana
Chi't	<i>Chrysophyllum mexicanum</i> (Brand) Standl
Chicalajte	<i>Viburnum hartwegii</i>
Chich'bat	<i>Croton draco</i> Schlecht.
Ciprés	<i>Juniperus comitana</i>
Coquilté	<i>Inga pavoniana</i> Donn.
Corcho	<i>Heliocarpus aff. Popayensis</i>
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Jooxté	<i>Vismia camaparaguey</i>
Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.
Mandarina	<i>Citrus nobilis</i> Lour.
Meste	<i>Mirica cerifera</i> (Well colom)
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Osb.
Nogal	<i>Couglan piriformis</i>
Ocote	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl
Pomarosa	<i>Eugenia jambos</i> L.
Pomte	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br.
Popiste	<i>Blepharidium guatemalense</i>
Sakmumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Shashibte	<i>Senna multijuga</i>
Shote	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.
Tipal	<i>Lysiloma desmostachys</i> Benth.
Tog	<i>Pinus</i> sp.
Tzac mumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Tzu'tee'	<i>Dendropanax arboreus</i> L. Decne et Planch
Xajoj	<i>Saurauia villosa</i> D.C
Xaktajmut	<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl) D.Don
Yacanchamel	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Dacne & Planchon

Anexo 2. Especies arbóreas encontradas en el café con sombra.

Nombre común	Nombre científico
Aguacate criollo	<i>Persea</i> sp.
Aguacatillo	<i>Nectandra heydeana</i> Mess & Sonn
Ajob	<i>Sauravia scabrida</i>
Anonia	<i>Annona cherimola</i>
Atsam' te	<i>Rapanea myricoides</i> (Schlecht.) Lundell
Axinte	<i>Solanum aphyodendron</i> Knapp
Bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>
Cacaté	<i>Oecopetalum mexicanum</i> Gr. & Th.
Campana	<i>Datura</i> sp.
Can' hól	<i>Piper oduncum</i> L.
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.
Chalum I	<i>Inga</i> sp.
Chalet	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.
Chich'bat	<i>Croton draco</i> Schlecht.
Chicjalapte	<i>Viburnum hartwegii</i>
Chii' t	<i>Chrysophyllum mexicanum</i> (Brand) Standl)
Chuchum	<i>Chaetoptelea mexicana</i> (Liebm.) planch
Roble	<i>Quercus</i> sp.
Ramon	<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urban
Sac mumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Quiebrahacha	<i>Chrysphyllum mexicanum</i> Brand. Ex Standl.
Coquil'te	<i>Inga pavoniana</i> Donn.
Corcho rojo	<i>Heliocarpus</i> aff. <i>Popayensis</i>
Durazno	<i>Bunchosia lanceolata</i> Turcz.
Guanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Guash	<i>Trema micrantha</i>
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.
Guineo	<i>Musa sapientum</i> L.
Hierba santa	<i>Piper auritum</i>
Ichil' te	<i>Zanthoxylum</i> aff. <i>kellermanii</i> P. Wilson
Izote	<i>Yucca elephantipes</i> Regel
Jonia	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose
Jox' te	<i>Vismia camaparaquey</i>
Lima	<i>Citrus Limetta</i>
Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.
Macheton	<i>Inga radians</i> Pitt
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.
Manishagan	<i>Acalypha</i> sp
Mote	<i>Erythrina</i> sp.
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Osb.
O'och	<i>Bixa orellana</i>
On' te	<i>Nectandra globosa</i> (Aublet) Mez.

Especies arbóreas encontradas en los cafetales (continuación).

Nombre común	Nombre científico
Palo blanco	<i>Oxandra</i> sp.
Palo colorado	<i>Simira salvadorensis</i>
Palo de oro	<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) Schum.
Palo moco	<i>Persea schiedeana</i> Nees
Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i> (L.) S.
Palo purga	<i>Trichilia havanensis</i> Jacq
Pom' té	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br.
Pomarosa	<i>Eugenia jambos</i> L.
Sun	<i>Tithonia rotundifolia</i> (Miller) Blake
Sitit	<i>Vernonia deppeana</i> Less.
Tabaquillo	<i>Solanum erianthum</i>
Taray	<i>Eysenhardtia adenostylis</i> Baillon
Tu' minté	<i>Croton billbergianus</i> Mull Arg.
Tzelel	<i>Inga punctata</i> Willd.

Anexo 3. Especies arbóreas presentes en el sistema Milpa.

Nombre común	Nombre científico
Ajoj'te	<i>Saurauia villosa</i> D.C
Atsam'te	<i>Rapanea myricoides</i> (Schlecht.) Lundell
Bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>
Chicjalapte	<i>Viburnum hartwegii</i> Benth
Colochte	<i>Myrica mexicana</i> Willd.
Coquilte	<i>Inga pavoniana</i> Donn.
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Guax	<i>Trema micrantha</i>
Ish irte	<i>Zanthoxylum aff. kellermanii</i> P. Wilson
Jilte(roble)	<i>Quercus</i> sp.
Joosh'te	<i>Vismia camaparaguey</i>
Onte	<i>Nectandra globosa</i> (Aublet) Mez.
Roble	<i>Quercus</i> sp.
Sacmumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Sitit	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.
Xactajmut	<i>Miconia hondurensis</i> Donn. Smith
Zelet	<i>Inga punctata</i> Willd.

Anexo 4. Especies arbóreas encontradas en el sistema Acahual tradicional.

Nombre común	Nombre científico
Chacquil	<i>Cupania Dentata</i>
Bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>
Ajoj'te	<i>Saurauia villosa</i> D.C
Atsamte	<i>Rapanea myricoides</i> (Schlecht.) Lundell
Café	<i>Coffea arabica</i>

Especies arbóreas encontradas en el sistema Acahual tradicional
(Continuación).

Nombre común	Nombre científico
Buulte	<i>Inga Jinicuil</i>
Cacate	<i>Oecopetalum mexicanum</i> Gr. & Th.
Can'hal	<i>Piper oduncum</i> L.
Chac'taj'mut	<i>Miconia aff. ibaguensis</i> (Bonpl.) Triana
Chacmumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Chactamul	<i>Clidemia octona</i>
Chajapte	<i>Piper yzabalanum</i>
Chalum	<i>Inga</i> sp.
Chalum blanco	<i>Inga</i> sp.
Chalum verde	<i>Inga</i> sp.
Chijalapte	<i>Viburnum hartwegii</i>
Chit'bat	<i>Croton draco</i> Schlecht.
Colocte	<i>Myrica mexicana</i> Willd.
Coquilte	<i>Inga pavoniana</i> Donn.
Corcho	<i>Heliocarpus aff. Popayensis</i>
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Hayte	<i>Clibadium arboreum</i>
Hob'te	<i>Nectandra globosa</i> (Aublet) Mez.
Huash	<i>Trema micrantha</i>
Huayte	<i>Clibadium arboreum</i>
Ichilte	<i>Zanthoxylum aff. kellermanii</i> P. Wilson
Jonoay	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose
Juaron	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Juste	<i>Vismea camparaguey</i> Sprage & Riley
Liquidambar	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.
Manichajan	<i>Acalypha</i> sp.
Octe	<i>Nectandra globosa</i> (Aublet) Mez.
Paite	<i>Heliocarpus donell-smith</i>
Pajulte	<i>Zanthoxylum aff. microcarpum</i> Griseb
Pomarosa	<i>Eugenia jambos</i> L.
Pomte	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br.
Puwanté	<i>Piper diandrum</i> C.Dc
Quewexmax	<i>Rollinia membranaceae</i>
Roble	<i>Quercus</i> sp.
Sacjit (sp 2)	<i>Styrax glabrescens</i>
Sacmumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Sakilte	<i>Vochysia guatemalensis</i>
Sitit	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.
Tzotsokilte	<i>Annona cherimolla</i> Mill.
Xac'taj'mut	<i>Miconia hondurensis</i> Donn. Smith
Xatajtemut	<i>Conostegia xalapensis</i> (Bonpl) D.Don
Xhobte	<i>Gonzalagonia thyrsoidea</i>
Yacanshamelte	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Dacne & Planchon
zelet	<i>Inga punctata</i> Willd.
Zote	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.

Anexo 5. Especies arbóreas presentes en el sistema Taungya.

Nombre común	Nombre científico
Ajoj	<i>Sauravia scabrida</i>
Ajojte	<i>Saurauia villosa</i> D.C
Bat	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>
Café	<i>Coffea arabica</i>
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.
Chalum	<i>Inga</i> sp.
Chii'j	<i>Chamaedorea cataractarum</i> Liebm.
Chijalapte	<i>Viburnum hartwegii</i>
Chililte	<i>Zanthoxylum</i> aff. <i>kellermanii</i> P. Wilson
Ciprés	<i>Juniperus comitana</i>
Coquilte	<i>Inga pavoniana</i> Donn.
Corcho	<i>Heliocarpus</i> aff. <i>Popayensis</i>
Guanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Guineo	<i>Musa sapientum</i> L.
Huash	<i>Trema micrantha</i>
Jonay	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose
Limón	<i>Citrus aurantifolia</i> Osb.
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.
Nispero	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindley
On'te	<i>Nectandra globosa</i> (Aublet) Mez.
Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i> (L.) S.
Pata'h	<i>Psidium guajava</i>
Pino	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl*
Pomté	<i>Neurolaena lobata</i> (L.) R. Br.
Sac mumus	<i>Lippia myriocephala</i> Schlech. & Cham.
Shinté	<i>Lonchocarpus</i> sp.
Sitit	<i>Vernonia patens</i> H.B.K.
Toj posté	<i>Cupania dentata</i> D.C.
Tuminté	<i>Croton billbergianus</i> Mull Arg.
Tzelel	<i>Inga punctata</i> Willd.
Tzotsokilte (guaba)	<i>Annona cherimolla</i> Mill.
Tzuy	<i>Liabum glabrum</i>

Anexo 6. Análisis de varianza para todas las variables evaluadas de los sistemas agroforestales en la zona baja.

Variable dependiente: Compactación

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.28958333	0.14479167	0.31	0.7383
Error	15	7.01541667	0.46769444		
Total correcto	17	7.30500000			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	com Media	
	0.039642	54.71055	0.683882	1.250000	

Variable dependiente: Materia orgánica

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.22619048	0.11309524	0.05	0.9502
Error	15	33.09880952	2.20658730		
Total correcto	17	33.32500000			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	mo Media	
	0.006787	29.41502	1.485459	5.050000	

Variable dependiente: Densidad aparente

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.00443790	0.00221895	0.47	0.6320
Error	15	0.07033988	0.00468933		
Total correcto	17	0.07477778			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	daparent Media	
	0.059348	6.334099	0.068479	1.081111	

Variable dependiente: Espacio poroso

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.00147123	0.00073562	1.02	0.3850
Error	15	0.01083988	0.00072266		
Total correcto	17	0.01231111			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ep Media	
	0.119504	4.652708	0.026882	0.577778	

Variable dependiente: pH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.42753968	0.21376984	4.94	0.0224
Error	15	0.64857143	0.04323810		
Total correcto	17	1.07611111			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	pH Media	
	0.397301	3.481748	0.207938	5.972222	

Variable dependiente: Nitrógeno total

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.00076825	0.00038413	0.06	0.9407
Error	15	0.09394286	0.00626286		
Total correcto	17	0.09471111			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Nt Media	
	0.008112	29.55369	0.079138	0.267778	

Variable dependiente: Fósforo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	16.2081730	8.1040865	0.50	0.6181
Error	15	244.6683881	16.3112259		
Total correcto	17	260.8765611			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	P Media	
	0.062130	111.0385	4.038716	3.637222	

Variable dependiente: Potasio

Suma de Cuadrado de

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	0.08035456	0.04017728	0.54	0.5916
Error	15	1.10853988	0.07390266		
Total correcto	17	1.18889444			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	k Media	
	0.067588	75.63072	0.271850	0.359444	

Variable dependiente: Calcio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	69.0215571	34.5107786	0.62	0.5505
Error	15	833.1416929	55.5427795		
Total correcto	17	902.1632500			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ca Media	
	0.076507	86.10864	7.452703	8.655000	

Variable dependiente: Magnesio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	3.51577302	1.75788651	0.34	0.7157
Error	15	77.09038810	5.13935921		
Total correcto	17	80.60616111			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	mg Media	
	0.043617	63.27536	2.267015	3.582778	

Variable dependiente: Plántulas

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	69551848.7	34775924.4	2.05	0.1636
Error	15	254750246.4	16983349.8		
Total correcto	17	324302095.1			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	pla Media	
	0.214466	96.51758	4121.086	4269.778	

Variable dependiente: Juveniles

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	4494742.06	2247371.03	1.88	0.1871
Error	15	17949702.38	1196646.83		
Total correcto	17	22444444.44			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	juv Media	
	0.200261	80.69854	1093.914	1355.556	

Variable dependiente: Riqueza arbórea

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	26.0873016	13.0436508	1.12	0.3527
Error	15	175.0238095	11.6682540		
Total correcto	17	201.1111111			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ra Media	
	0.129716	41.54452	3.415883	8.222222	

Anexo 7. Análisis de varianza para todas las variables evaluadas de los sistemas agroforestales en la zona alta.

Variable dependiente: Compactación

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	12.50328205	3.12582051	3.51	0.0241
Error	21	18.69556410	0.89026496		
Total correcto	25	31.19884615			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	com Media	
	0.400761	43.57372	0.943539	2.165385	

Variable dependiente: Materia orgánica

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	12.7607179	3.1901795	0.73	0.5810
Error	21	91.6654359	4.3650208		
Total correcto	25	104.4261538			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	mo Media	
	0.122198	29.52220	2.089263	7.076923	

Variable dependiente: Densidad aparente

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	0.01088897	0.00272224	0.67	0.6181
Error	21	0.08494564	0.00404503		
Total correcto	25	0.09583462			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	daparent Media	
	0.113623	6.081701	0.063601	1.045769	

Variable dependiente: Espacio poroso

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	0.00265051	0.00066263	1.04	0.4085
Error	21	0.01333410	0.00063496		
Total correcto	25	0.01598462			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ep Media	
	0.165816	4.276484	0.025198	0.589231	

Variable dependiente: pH

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	1.70982051	0.42745513	7.07	0.0009
Error	21	1.26902564	0.06042979		
Total correcto	25	2.97884615			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ph Media	
	0.573988	4.120853	0.245825	5.965385	

Variable dependiente: Nitrógeno total

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	0.02977359	0.00744340	0.64	0.6374
Error	21	0.24287256	0.01156536		
Total correcto	25	0.27264615			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	nt Media	
	0.109202	28.64858	0.107542	0.375385	

Variable dependiente: Fósforo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	20.60191872	5.15047968	2.58	0.0673
Error	21	41.96751590	1.99845314		
Total correcto	25	62.56943462			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	P Media	
	0.329265	60.82299	1.413667	2.324231	

Variable dependiente: Potasio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	0.02872744	0.00718186	0.27	0.8945
Error	21	0.56027256	0.02667965		
Total correcto	25	0.58900000			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	k Media	
	0.048773	40.83476	0.163339	0.400000	

Variable dependiente: Calcio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	521.244558	130.311139	2.00	0.1317

Error	21	1369.329431	65.206163	
Total correcto	25	1890.573988		
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ca Media
	0.275707	73.16636	8.075033	11.03654

Variable dependiente: Magnesio

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	21.9159674	5.4789919	1.19	0.3423
Error	21	96.3096326	4.5861730		
Total correcto	25	118.2256000			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	mg Media	
	0.185374	82.36674	2.141535	2.600000	

Variable dependiente: Plántulas

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	685115098	171278774	1.99	0.1329
Error	21	1806667720	86031796		
Total correcto	25	2491782817			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	pla Media	
	0.274950	131.6742	9275.333	7044.154	

Variable dependiente: Juveniles

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	34337358.97	8584339.74	4.33	0.0104
Error	21	41607256.41	1981297.92		
Total correcto	25	75944615.38			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	juv Media	
	0.452137	57.54282	1407.586	2446.154	

Variable dependiente: Riqueza arbórea

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	4	345.6102564	86.4025641	2.93	0.0452
Error	21	619.0435897	29.4782662		
Total correcto	25	964.6538462			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	ra Media	
	0.358274	42.13854	5.429389	12.88462	

Anexo 8. Clasificación de Materia Orgánica en suelos derivados de cenizas volcánicas (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Clase	C. Orgánico	% M.O.
Muy pobre	< 1.2	< 2
Pobre	1.2 - 2.9	2 - 5
Medio	2.9 - 4.6	5 - 8
Rico	4.6 - 8.7	8 - 15
Muy rico	> 8.7	> 15

Tomado de: Vázquez-Alarcón (2008).

Anexo 9. Valores óptimos para pH del suelo (Jones y Wolf modificado 1984).

Categoría	Escala del pH
Muy ácido	< - 5.5
Ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5

Neutro	6.6 – 7.3
Alcalino	7.4 – 8.3
Fuertemente alcalino	> – 8.3

Tomado de: Vázquez-Alarcón (2008).

Anexo 10. Clasificación para Nitrógeno Total (Moreno, 1978)

Clase	% Nitrógeno total
Extremadamente pobre	Menor - 0.032
Pobre	0.032 - 0.063
Medianamente pobre	0.064 - 0.095
Mediano	0.096 - 0.126
Medianamente rico	0.127 - 0.158
Rico	0.158 - 0.221
Extremadamente rico	Mayor - 0.221

Tomado de: Vázquez-Alarcón (2008).

Anexo 11. Clasificación para Fósforo extractable Olsen (CSTPA, 1980).

Clase	Fósforo (ppm ó mg/kg)
Bajo	Menor - 5.5
Medio	5.5 - 11.0
Alto	Mayor - 11.0

Tomado de: Vázquez-Alarcón (2008).

Anexo 12. Clasificación para cationes intercambiables en Acetato de Amonio pH 7.0 (Etchevers *et al.*, 1971).

Clase	Ca	Mg Meq/100g ó Cmol/kg	K
Muy baja	Menor - 2	Menor - 0.5	Menor - 0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	Mayor - 10	Mayor - 3.0	Mayor - 0.6

Tomado de: Vázquez-Alarcón (2008).

Anexo 13. Datos de parcelas para las variables que fueron analizadas.

SISTEMA	ALTITU D	PLANTULAS/1000m 2	JUVENILES/H A	RIQUEZA ARBORE A	p H	COMPACTACIO N	NOM TEXTURAL	M. O	N. total	Fósfor o	Potasi o	Magnesi o	Calci o
								%		mg/kg		Cmol/Kg	
AM	828	1500	300	5	6.6.	1	Franco arcilloso	4.6	0.24	2.2	0.21	4.6	6.0
AM	875	1000	3300	13	4	2.2	Franco arcilloso	5.5	0.3	0.9	0.3	4.1	9.1
AM	886	750	3800	14	6.6.	1.5	Franco	4.8	0.24	2.5	0.2	0.8	3.4
AM	1230	12000	4000	16	2	1.6	Franco	7.7	0.42	1.5	0.6	7.8	22.7
AM	1231	2000	3700	12	4	3.8	Franco arenoso	7.2	0.39	4.4	0.4	1.1	3.8
AM	1350	49000	6600	22	9	.	Franco Arcilla Arenoso	6.7	0.37	2.8	0.2	0.4	1.7
AT	1110	1250	3600	9	2	2.2	Arcilloso	4.8	0.26	0.6	0.5	2.5	14.1
AT	1120	6667	4500	17	2	1	Franco arcilloso	4.8	0.26	0.3	0.3	0.7	2.9
AT	1150	7250	2800	26	7	1.5	Arcilloso	8	0.43	0.3	0.5	1.5	4.8
AT	1260	11543	3600	28	2	1	Franco Arcilla Arenoso	11.7	0.59	2.5	0.4	0.7	1.9
AT	1300	1143	2700	16	1	0.9	Franco arcilloso	4.8	0.24	2.2	0.3	3.8	6.0
CAFÉ	870	1000	800	6	8	0.8	Arcilloso	7.2	0.39	4.1	0.7	1.9	25.9
CAFÉ	900	3556	2500	8	8	0.8	Arcilloso	8.4	0.44	15.4	0.5	1.9	18.0
CAFÉ	835	2500	2300	12	4	1.2	Arcilloso	3.3	0.17	2.5	0.2	4.8	5.0
CAFÉ	860	15000	700	9	7	1.2	Franco arcilloso	4.6	0.24	1.2	0.2	4.0	9.2
CAFÉ	870	6000	500	7	7	0.9	Franco arcilloso	4.5	0.24	0.6	0.2	0.9	2.7
CAFÉ	875	6000	700	5	5	1.4	Arcilloso	5.1	0.27	0.3	0.3	6.3	13.1
CAFE	900	7500	700	11	8	1.8	Franco arcilloso	3.9	0.21	1.5	0.2	2.9	6.3
CAFE	900	8800	1300	8	9	1.3	Franco arcilloso	4.4	0.24	2.2	0.3	3.2	6.3
CAFÉ	1150	2500	1100	10	6	1.3	Arcilloso	4.6	0.23	0.9	0.2	1.2	7.1
CAFÉ	1310	250	0	3	6	0.8	Arcilla arenoso	5.8	0.31	1.2	0.5	5.3	5.5
CAFÉ	1360	3500	3200	19	6	2	Franco limoso	11.1	0.59	2.8	0.5	1.9	31.2
CAFÉ	1380	3500	2200	9	8	3.4	Arcilloso	6.8	0.36	1.2	0.3	0.7	2.3

CAFÉ	1400	400	100	3	6. 2	2.9	Arcilloso	8.6	0.44	2.09	0.5	3.9	15.0
CAFÉ	1400	13091	1500	5	6	1.8	Franco arcilloso	8.2	0.44	5.3	0.9	2.0	22.4
CAFÉ	1500	0	5200	16	5. 9	2.9	Franco	6.7	0.36	4.1	0.3	2.0	14.8
CAFÉ	1500	4500	500	10	6	0.8	Franco arcilloso	11	0.59	3.7	0.3	2.3	22.4

SISTEMA	ALTITU D	PLANTULAS/1000m 2	JUVENILES/H A	RIQUEZA ARBORE A	p H	COMPACTACIO N	NOM TEXTURAL	M. O	N. total %	Fósfor o mg/kg	Potasi o	Magnesi o Cmol/Kg	Calci o
CAFÉ	1520	5500	2200	16	6. 5	1.9	Franco arcilloso	8.9	0.44	2.2	0.4	2.3	26.1
CAFÉ	1530	0	4600	13	6	3.1	Franco	9.1	0.46	2.2	0.4	1.7	17.2
CAFÉ	1150	6182	1900	16	6	1.5	Franco arcilloso	5.5	0.3	0.6	0.3	1.3	9.3
CAFÉ	1250	16750	2700	10	5. 7	2.1	Arcilloso	7	0.39	0.6	0.4	7.2	17.9
CAFÉ	1270	13455	2300	8	5. 7	2.1	Arcilloso	6	0.31	0.3	0.3	1.2	5.0
TAUNGY A	740	13250	2000	6	6. 2	1.1	Arcilloso	3.4	0.18	4.1	1.3	4.3	3.8
TAUNGY A	750	2500	1100	6	6. 1	2.3	Franco arcilloso	3.4	0.18	1.2	0.2	3.3	2.8
TAUNGY A	780	3000	0	6	6. 2	2.8	Franco arcilloso	4.1	0.23	2.5	0.3	5.4	6.3
TAUNGY A	820	1250	1400	10	6	0.4	Franco	5	0.26	1.9	0.2	0.8	2.4
TAUNGY A	850	250	200	2	6. 3	0.5	Arcilloso	7.1	0.38	3.7	0.5	8.0	24.5
TAUNGY A	866	2250	2700	14	5. 9	0.8	Franco arcilloso	5.9	0.31	8.8	0.3	0.6	1.5
TAUNGY A	872	750	100	6	6. 1	0.6	Franco arcilloso	5.7	0.3	10	0.3	6.5	9.6
TAUNGY A	1070	0	300	12	6	3.3	Franco	5.4	0.3	5.6	0.2	0.4	1.2
TAUNGY A	1240	4000	2000	9	6	0.8	Franco arenoso	5.8	0.31	3.4	0.4	1.5	3.0
MILPA	1250	0	0	10	5. 2	3.6	Arcilloso	6.7	0.37	3.7	0.3	3.5	6.2
MILPA	1260	4000	100	10	5. 1	3.7	Franco	4.4	0.24	4.1	0.4	2.8	6.8
MILPA	1310	14667	2200	10	5. 5	4	Arcilloso	6.7	0.36	1.9	0.7	7.7	15.2

Anexo 14. Correlaciones de Pearson entre variables para el sistema de acahual mejorado.

Variables	Com	MO	Da	Ep	Nt	P	K	Ca	Mg	Plan	Juv	Ra
pH	0.71	0.42	-0.52	0.38	0.41	0.13	0.66	0.31	0.25	-0.55	-0.14	0.08
Com		0.55	-0.30	0.43	0.54	0.69	0.26	-0.24	-0.41	-0.03	0.33	-0.02
MO			-0.59	0.42	0.99***	0.28	0.70	0.47	0.20	0.39	0.57	0.55
Da				-0.88*	-0.59	-0.18	-0.64	-0.53	-0.58	0.14	0.30	0.37
Ep					0.43	0.54	0.29	0.09	0.19	-0.08	-0.32	-0.39
Nt						0.25	0.67	0.46	0.21	0.42	0.58	0.56
P							-0.12	-0.54	-0.65	0.11	0.19	0.02
K								0.86*	0.67	-0.28	0.03	0.06
Ca									0.92**	-0.18	-0.10	0.02
Mg										-0.30	-0.42	-0.28
Plan											0.76	0.79
Juv												0.98***

* P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; N.S>0.05 (NOTA: En algunas variables a pesar de no tener una significancia estadística tienen una alta correlación). Com: compactación, MO: materia orgánica, Da: densidad aparente, Ep: Espacio poroso, Nt: Nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Plan: plántulas, Juv: Juveniles, Ra: Riqueza arbórea.

Anexo 15. Correlaciones de Pearson entre variables para los acahuales tradicionales.

Variables	Com	MO	Da	Ep	Nt	P	K	Ca	Mg	Plan	Juv	Ra
pH	-0.20	-0.08	-0.03	0.20	-0.12	0.38	-0.07	-0.12	0.03	-0.05	0.48	-0.32

Com	-0.50	0.28	-0.43	-0.45	-0.67	0.53	0.89*	0.26	-0.58	-0.09	-0.58
MO		-0.95**	0.91*	0.99***	0.48	0.32	-0.54	-0.45	0.88	0.20	0.87*
Da			-0.88*	-0.96**	-0.32	-0.55	0.35	0.49	-0.85*	-0.40	-0.78
Ep				0.88*	0.58	0.21	-0.33	-0.46	0.73	0.10	0.59
Nt					0.41	0.38	-0.52	-0.47	0.89*	0.24	0.89*
P						-0.25	-0.30	0.27	0.20	-0.09	0.31
K							0.39	-0.03	0.19	0.53	0.24
Ca								0.51	-0.75	-0.16	-0.75
Mg									-0.74	-0.19	-0.38
Plan										0.40	0.87*
Juv											0.29

* P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; N.S>0.05 (NOTA: En algunas variables a pesar de no tener una significancia estadística tienen una alta correlación). Com: compactación, MO: materia orgánica, Da: densidad aparente, Ep: Espacio poroso, Nt: Nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Plan: plántulas, Juv: Juveniles, Ra: Riqueza arbórea.

Anexo 16. Correlaciones de Pearson entre variables para los cafetales.

Variables	Com	MO	Da	Ep	Nt	P	K	Ca	Mg	Plan	Juv	Ra
pH	-0.04	0.45*	-0.49*	0.49*	0.41	0.08	0.10	0.35	-0.11	-0.37	0.01	0.30
Com		0.23	-0.04	0.13	0.21	-0.18	-0.003	0.02	-0.14	-0.13	0.64**	0.30
MO			-0.49*	0.30	0.99***	0.36	0.52*	0.81***	-0.21	-0.21	0.28	0.23
Da				-0.84***	-0.50*	-0.22	-0.51*	-0.21	-0.03	0.24	0.13	0.24
Ep					0.28	0.09	0.30	-0.06	-0.20	-0.42	-0.17	-0.23
Nt						0.37	0.54*	0.82***	-0.19	-0.18	0.27	0.22
P							0.44*	0.37	-0.20	-0.19	0.20	-0.04
K								0.65**	-0.08	0.02	0.01	-0.25
Ca									-0.02	-0.08	0.25	0.30
Mg										0.24	-0.23	-0.31
Plan											-0.13	-0.10
Juv												0.68***

* P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; N.S>0.05 (NOTA: En algunas variables a pesar de no tener una significancia estadística tienen una alta correlación). Com: compactación, MO: materia orgánica, Da: densidad aparente, Ep: Espacio poroso, Nt: Nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Plan: plántulas, Juv: Juveniles, Ra: Riqueza arbórea.

Anexo 17. Correlaciones de Pearson entre variables para los Taungya.

Variables	Com	MO	Da	Ep	Nt	P	K	Ca	Mg	Plan	Juv	Ra
pH	-0.02	-0.10	-0.29	0.16	-0.07	-0.32	0.48	0.74*	0.89**	0.24	-0.56	-0.94***

Com	-0.45	0.33	-0.26	-0.37	-0.26	-0.23	-0.35	-0.19	-0.09	-0.39	0.14
MO		-0.14	-0.07	0.99***	0.44	-0.32	0.56	0.13	-0.60	-0.12	0.06
Da			-0.96***	-0.12	-0.61	-0.26	-0.36	-0.63	-0.09	0.23	0.44
Ep				-0.10	0.59	0.32	0.10	0.46	0.26	-0.07	-0.30
Nt					0.43	-0.34	0.56	0.13	-0.61	-0.18	0.05
P						-0.05	0.02	0.05	-0.17	0.05	0.32
K							0.13	0.31	0.90***	0.28	-0.37
Ca								0.83**	-0.24	-0.50	-0.75*
Mg									0.04	-0.59	-0.91***
Plan										0.48	-0.15
Juv											0.53

* P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; N.S>0.05 (NOTA: En algunas variables a pesar de no tener una significancia estadística tienen una alta correlación). Com: compactación, MO: materia orgánica, Da: densidad aparente, Ep: Espacio poroso, Nt: Nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Plan: plántulas, Juv: Juveniles, Ra: Riqueza arbórea.

Anexo 18. Correlaciones de Pearson entre variables para el sistema Milpa.

Variables	Com	MO	Da	Ep	Nt	P	K	Ca	Mg	Plan	Juv
pH	0.88	0.69	0.37	-0.05	0.64	-0.99	0.90	0.96	0.99	0.87	0.96
Com		0.28	-0.10	0.42	0.21	-0.93	0.99*	0.98	0.93	0.99*	0.98
MO			0.93	-0.76	0.99*	-0.61	0.32	0.45	0.62	0.25	0.46
Da				-0.94	0.95	-0.27	-0.06	0.09	0.28	-0.12	0.10
Ep					-0.80	-0.06	0.38	0.24	0.05	0.44	0.23
Nt						-0.55	0.25	0.39	0.56	0.19	0.40
P							-0.94	-0.98	-0.99**	-0.92	-0.98
K								0.99	0.94	0.99*	0.99
Ca									0.98	0.98	0.99*
Mg										0.92	0.98
Plan											0.97

* P<0.05; **P<0.01; ***P<0.001; N.S>0.05 (NOTA: En algunas variables a pesar de no tener una significancia estadística tienen una alta correlación). Com: compactación, MO: materia orgánica, Da: densidad aparente, Ep: Espacio poroso, Nt: Nitrógeno total, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Plan: plántulas, Juv: Juveniles, Ra: Riqueza arbórea.