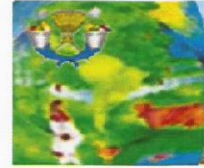




UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS



MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERIA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE SISTEMAS
AGROFORESTALES CON MANEJO ECOLÓGICO EN HUATUSCO, VERACRUZ.



TESIS DE GRADO

DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERIA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE

PRESENTA:

CINTHIA NAJERA ROSAS

Chapingo, Estado de México



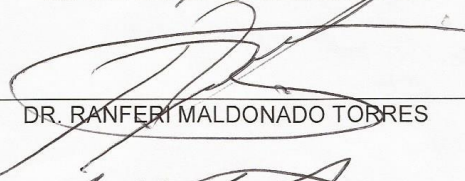
+++

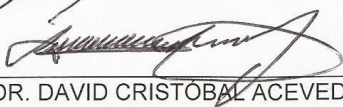
**DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE SISTEMAS
AGROFORESTALES CON MANEJO ECOLÓGICO EN HUATUSCO,
VERACRUZ**

Tesis realizada por **CINTHIA NAJERA ROSAS** bajo la supervisión del comité
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el
grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERIA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

DIRECTORA: 
Dra. MA. EDNA ALVAREZ SANCHEZ

ASESOR 
DR. RANFERI MALDONADO TORRES

ASESOR: 
DR. DAVID CRISTOBAL ACEVEDO

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme cursar una etapa profesional más, poder interactuar con sus conocimientos e instalaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para el desarrollo de mis estudios de maestría.

Al Centro Agroecológico Las Cañadas, por permitirme realizar el presente trabajo de investigación, por su apoyo y confianza.

A la Dra. Ma. Edna Álvarez Sánchez, por mostrarme que el lado objetivo de la ciencia se acompaña de la subjetividad innata del ser humano, GRACIAS.

Al Dr. Ranferi MaldonadoTorres y Dr. David Cristóbal Acevedo, por sus atinadas observaciones y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A todos con los que me relacioné y aportaron algo en mi persona y desarrollo de esta etapa profesional, compañeros y amigos Bogard, Claudia, Ranulfo y Rigoberto.

GRACIAS

Datos biográficos

Cinthia Nájera Rosas nació el 11 de marzo, en el municipio de Huatusco, Ver. Estudio la preparatoria en la escuela Profa. Rosa Guerrero Ramírez, nivel medio superior con orientación en ciencias exactas. Egresó de la ingeniería en Agroecología en la Universidad Autónoma Chapingo. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el desarrollo sostenible en la Universidad Autónoma Chapingo en los años 2012-2013. En los años 2005-2007 Colaboró en el Módulo el Jurásico del centro de Capacitación en Tecnologías Agroecológicas en la Universidad Autónoma Chapingo, en la atención y manejo de la sección de Lombricompostas, en actividades de Manejo y operación del mismo, capacitación de grupos de productores y estudiantes, además de ofrecer pláticas informativas a visitantes. Asimismo colaboró en el Diagnóstico Participativo de los Recursos Naturales en la comunidad de Yololtepec, Tezonapa, Veracruz. En el año 2008 cooperó en la realización del folleto para la divulgación de la Producción de Cabras en Sistema Familiar Centro Agroecológico Las Cañadas, Huatusco, Veracruz. Laboró como prestadora de servicios profesionales dentro de la sociedad Bahena y Asociados S.A. de C. V. con productores en aspectos de capacitación sobre el manejo de producción de hortalizas y de maíz en la zona de Iguala, Guerrero, en el año 2011. Entre los años 2010 y 2013 participó en la administración y producción de plantas ornamentales, en el poblado de Jaloxtoc, Municipio Ayala, Morelos.

DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON MANEJO ECOLÓGICO EN HUATUSCO, VERACRUZ.

DIAGNOSIS

OF SOIL

FERTILITY MANAGEMENT OF ECOLOGICAL SYSTEMS AGROFORESTALES IN HUATUSCO, VERACRUZ.

Cinthia Najera Rosas, Ma. Edna Álvarez Sánchez, Ranferi Maldonado Torres y David Cristóbal Acevedo

RESUMEN

Los efectos negativos originados por la agricultura convencional sobre los recursos naturales en Huatusco, Veracruz, aunado a su baja rentabilidad, han obligado al desarrollo de sistemas de producción alternos, basados en la recirculación de nutrientes y en la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, se desconoce el efecto benéfico y la magnitud con la que cada uno de estos sistemas ha contribuido en la calidad del suelo a lo largo de 20 años de implementación. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo consistió en evaluar el estado de la fertilidad del suelo de los diferentes sistemas ecológicos de producción en el centro agroecológico "Las Cañadas" y generar propuestas sobre la nutrición de cultivos con base en el uso de insumos locales.

Se tomaron muestras de suelo de los diez sistemas de producción así como de dos áreas de vegetación restaurada y natural, para determinar sus propiedades físicas y químicas; los insumos locales utilizados en el abonado de los cultivos también fueron caracterizados químicamente. Asimismo, se registró el historial de manejo de cada sistema de producción. En general, los sistemas ecológicos de producción a través de la adición de materia orgánica local, labranza mínima del suelo y adiciones complementarias de insumos han contribuido a la regeneración de la calidad natural del suelo, pero, el reciclaje de nutrientes a partir de los insumos locales, es insuficiente para cubrir las necesidades nutrimentales de los cultivos para una óptima producción.

Palabras

clave:

Agroforestales,
sustentabilidad

Sistemas
compostas,

ABSTRACT

Negative effects caused by conventional agriculture on natural resources Huatusco, coupled with low profitability, have forced the development of alternative production systems based on nutrient recirculation and conservation of natural resources. However, the beneficial effect and the extent to which each of these systems has contributed to the quality of the soil over 20 years of implementation is unknown. Therefore, the aim of this study was to assess the status of soil fertility of different ecological systems in the agro-ecological production center "Las Cañadas" and generate proposals on crop nutrition based on the use of local inputs. Soil samples from ten production systems as well as two areas of restored and natural vegetation to determine their physical and chemical properties were taken; local inputs used in the subscriber crops also were characterized chemically. Also, the driving record of each production system was recorded. In general, organic production systems through the addition of local organic matter, soil tillage and additions of complementary inputs have contributed to the regeneration of the natural quality of the soil, but the recycling of nutrients from inputs local, is insufficient to meet the nutritional needs of crops for optimum production.

Key words: Agroforestry systems, compost and sustainability

Contenido

1. Introducción	1
2. Marco teórico	2
2.1. Localización.....	2
2.2 Relieve.....	3
2.3 Geología.....	3
2.4 Suelo.....	3
2.5 Hidrología.....	4
2.6 Clima.....	4
2.7 Bosque de niebla.....	4
2.8 Actividades productivas	5
2.9. La materia orgánica como indicador de calidad del suelo.....	5
2.9.1 Función de la materia orgánica.....	8
2.9.2. Incorporación de residuos de cosecha y la Materia orgánica del suelo	10
2.9.3. Influencia de la labranza en la calidad del suelo	12
2.10. Producción de alimentos en el Centro agroecológico Las Cañadas	15
2.11. Sistemas Agroforestales	16

2.11.1. Clasificación de los sistemas agroforestales	16
2.12 Manejo del sistema.....	17
2.12.1. Huerto	18
2.12.2. Bosque comestible.....	18
2.12.3. Sistemas de producción de milpa Maíz-tejocote, Maíz-Araucaria y Maíz-ixcuabil.....	19
2.12.4. Sistema agroforestal de tubérculos.....	20
2.12.5. Sistema silvopastoril de ganado lechero.....	20
2.12.6. Bosque de niebla maduro y acahual.....	21
3.-Objetivos	22
3.1 Objetivo general	22
4. Materiales y métodos.....	23
4.1. Fase de campo.....	23
4.2. Descripción de sistemas	¡Error! Marcador no definido.
4.3. Muestreo de cada sistema.....	29
4.3.1. Sistema Silvopastoril.....	29
4.3.2. Sistema Maíz-frijol	30
4.3.6. Huerto biointensivo	32
4.3.7. Cama biointensiva con gigantón.....	32
4.3.7. Cama biointensiva con king grass.....	33
4.3.9. Bosque comestible.....	33
4.3.10. Sistema agroforestal de tubérculos.....	34

4.3.11. Bosque secundario	34
4.3.12. Bosque maduro.....	35
4.4. Fase Laboratorio	35
4.4.1. Propiedades químicas	35
4.4.2. Análisis de insumos locales utilizados como abonos en los sistemas agroforestales	36
4.4.3. Propiedades físicas.....	38
5. Resultados y discusión.....	39
<i>En este apartado se describe lo encontrado y analizado con relación a las propiedades químicas y físicas de los sistemas de estudio.....</i>	
5.1. Propiedades químicas	39
5.1.1. Necesidades de encalado.....	45
5.1.3. Características químicas de los insumos agrícolas utilizados en Las Cañadas	50
5.2. Rendimiento de los cultivos fertilizados con las recomendaciones generadas	51
5.3 Propiedades físicas.....	53
5.3.1. Porosidad.....	54
5.3.2. Constantes de humedad	56
5.3.3. Densidad aparente.....	61
5.3.4. Agregados estables	62
5.3.5. Conductividad hidráulica	64

. 6. Conclusiones	65
7.-Literatura citada.....	66
9 Anexos	76
9.1 ANEXO I. SISTEMAS DE PRODUCCION DE MAIZ Y FRIJOL	76
9.1.1. Sistema Maíz-Araucaria.....	76
9.1.2. Sistema Maíz-Ixcuabil.....	78
9.1.3. Sistema Maíz-Tejocote	82
9.2. Anexo II	84
9.1.2. Proceso de elaboración de composta de cocina:.....	84
9.3. Anexo III	86
9.1.3. BIO-FERMENTO para sistemas de frijol y maíz en el centro agroecológico Las Cañadas (Obtenido por expresión de productores)	86

Índice de figuras

Figura 1. Relación de propiedades físicas, químicas y biológicas dentro de la calidad del suelo.	7
Figura 2. Relación de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con la materia orgánica del mismo.	8
Figura 3. Ubicación de los sistemas agroforestales muestreados	23
Figura 4. Sistemas silvopastoriles con vacas jersey (1/2) -criollas (1/2) lecheras.	29
Figura 5. Sistema agroforestal en callejones con <i>Thitonia diversifolia</i> de milpa y frijol.	30
Figura 6. Área del sistema Maíz-Ixcuabil en barbecho	31
Figura 7. Sistema de milpa y frijol, en donde se colectaron 20 submuestras....	32
Figura 8. Huerto casero bajo el método biointensivo y elaboración de compostas	32
Figura 9. Cama biointensiva plantada con gigantón (<i>Thitonia diversifolia</i>)	32
Figura 10. Cama biointensiva con King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>)	33
Figura 11 Sistema agroforestal se colectó una muestra compuesta de suelo. ..	33
Figura 12. Sistema agroforestal con 25 submuestras de suelo.	34
Figura 13. Vegetación del bosque en donde se colectaron 25 submuestras	35

Figura 14. Vegetación del bosque de niebla maduro	35
Figura 15. Relación entre el Fe disponible extraído con DTPA y el P disponible Olsen (a), y entre la relación Fe:P disponible y el P-disponible (b).....	42
Figura 16. Curvas de encalado en suelo de sistemas Agroforestales con pH moderadamente ácido.	46
Figura 17. Relación entre el contenido de materia orgánica del suelo y la porosidad total en los distintos sistemas de manejo de Las Cañadas.	54
Figura 18. Relación entre el contenido de materia orgánica del suelo de los sistemas ecológicos de producción con la macroporosidad.	55
Figura 19. Relación entre (a) la humedad aprovechable del suelo y el contenido de MO y (b) la capacidad de campo y la microporosidad, en los suelos de los sistemas ecológicos de Las Cañadas.....	57
Figura 20. Curvas de retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales sin laboreo.....	59
Figura 21. Curvas de retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales con medio laboreo.....	60
Figura 22. Curvas de retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales con laboreo.....	61
Figura 23. Relación entre el contenido de materia orgánica y los agregados estables en los sistemas ecológicos de producción en Las Cañadas.....	64

Índice de cuadros

Cuadro 1. Relación C:N de materiales que se incorporan al suelo. -----	11
Cuadro 2. Descripción del manejo y cultivos implementados en cada uno de los sistemas analizados -----	25
Cuadro 3. Abonado realizado en los sistemas ecológicos en años anteriores--	27
Cuadro 4. Metodologías empleadas para la determinación de propiedades químicas en muestras de suelo de los diferentes sistemas agroforestales. ----	36
Cuadro 5. Propiedades químicas determinadas en las enmiendas utilizadas en la nutrición de cultivos de los sistemas agroforestales de Las Cañadas -----	37
Cuadro 6. Metodologías empleadas para la determinación de propiedades físicas en muestras de suelo de los diferentes sistemas agroforestales. -----	38
Cuadro 7. Resultado de análisis químicos de los distintos suelos de los sistemas agroforestales en Las Cañadas -----	43
Cuadro 8. Recomendaciones de abonado por sistema, con base en los análisis químicos de suelo para macronutrientes.-----	47
Cuadro 9. Necesidades de micronutrientes, dosis de fertilización y forma de aplicación para los sistemas agroforestales de Las Cañadas -----	49
Cuadro 10. Análisis de los insumos agrícolas implementados en los sistemas agroforestales de Las Cañadas -----	50

Cuadro 11. Producción de maíz (Jazmín) y frijol (mantequilla de guía) antes y después de la recomendación de -----	51
Cuadro 12. Resultado de análisis físicos de los distintos suelos de los sistemas agroforestales en Las Cañada -----	53
Cuadro 13. Agrupación de los sistemas agroforestales estudiados con base al manejo del suelo.-----	58
Cuadro 14. Manejo y abonado que se realizó en la parcela Maíz-Araucaria, en donde se sembró maíz y frijol -----	76
Cuadro 15. Manejo y abonado que se realizó en la parcela Maíz-Ixcuabil -----	78
Cuadro 16. Peso de planta y grano de frijol en el predio Maíz-Ixucabil. Superficie 8 m ² -----	80
Cuadro 17. Ficha técnica de manejo y abonado en el sistema Maíz-Tejocote -----	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 20. Dosis y aplicaciones para cultivos del biopreparado-----	87

1. Introducción

En la Región de Huatusco, se cultiva predominantemente café bajo sombra y se practica la ganadería extensiva con doble propósito, actividades que han desplazado a la vegetación del bosque de niebla, reduciendo el espacio para la flora y fauna endémicas, y de la calidad de los servicios ambientales que proporcionan estos sistemas naturales. En esta situación, en el Centro Agroecológico Las Cañadas se han implementado sistemas de producción alternativos a la agricultura predominante, como el bosque comestible (plantaciones de árboles frutales con plantas comestibles), sistemas agroforestales para la producción de tubérculos, huerto de hortalizas, milpa intercalada con frijol y sistemas silvopastoriles (ganadería), todos con un manejo basado en la recirculación de nutrimentos a través del uso de insumos locales, que incluye compostas elaboradas con residuos de cocina y del huerto, composta de excreta humana, residuos de cosecha, estiércol, abonos verdes y leguminosas; esto, en conjunto con labranza mínima del suelo. Otro de los sistemas ecológicos que se practica es el huerto biointensivo, que consiste en la producción en camas con doble excavado, en donde se voltean los primeros 30 cm de suelo y se remueven los siguientes 30 cm para facilitar el crecimiento de las raíces; se adiciona composta en cada siembra de la rotación de cultivos. Dentro de las camas biointensivas se incluyen espacios para el cultivo de biomasa como fuente de carbono para la elaboración de compostas, materiales que se recirculan en el momento del abonado con las mismas.

Estas actividades fomentan un manejo de los recursos naturales con especial cuidado hacia el suelo, agua, vegetación local y de regeneración del bosque; sin embargo, se desconoce el efecto benéfico y la magnitud con la que cada uno de estos sistemas ha contribuido en la calidad del suelo a lo largo de 20 años de implementación. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la fertilidad del suelo de los diferentes sistemas agroforestales y

generar propuestas sobre la nutrición de cultivos con base en el uso de insumos locales.

La importancia de evaluar el impacto de las tecnologías mencionadas no sólo arrojará información sobre la efectividad de las prácticas agrícolas en la calidad del suelo, también permitirá aplicar medidas correctivas para mejorar la productividad de los cultivos con el propósito de contribuir al bienestar del sistema ecológico desde el punto de vista de producción de alimentos y para cubrir necesidades humanas de nutrición. También será ejemplo de una nueva forma de producción con baja aplicación de energías externas desechables que puede replicarse en otras regiones de México con fines de restauración y bienestar social.

2. Marco teórico

2.1. Localización

El Centro Agroecológico Las Cañadas se encuentra en el municipio de Huatusco, Veracruz, ubicado en la zona centro del estado sobre la Sierra Madre oriental. Dentro de las coordenadas geográficas 19° 09´ latitud norte y 96° 58´ longitud oeste, a una altura entre los 1300 y 1500 m.

El centro agroecológico comprende una superficie de 306 ha, de las cuales 265 has se destinan para un uso forestal, el resto se utiliza para uso agropecuario, espacio en el cual se encuentran desarrollados los sistemas agroforestales de estudio.

2.2 Relieve

La región de bosque de niebla de estudio, se encuentra ubicado en la zona montañosa del centro del Estado, sobre las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. En el área de estudio se distinguen elevaciones como el cerro de Acatepec (cerro de las cañas o carrizos), cerro de Guadalupe (Norte de la Ciudad), cerro de Ixpila, cerro de Elotepec (cerro de los Elotes), cerro Colorado (Suroeste del Municipio), cerro de Los Tecolotes (Norte del Municipio), cerro de Ocelotepec (cerro del Tigre) (Hernández, 2006) y la cascada de Tenexamaxa y caídas de agua como el Boquerón.

2.3 Geología

El material de origen de los suelos de la región son piroclásticos y cenizas volcánicas, que por efecto del clima, la vegetación y el relieve, poseen propiedades tales como perfiles A/B/C profundos, friables y oscuros en la parte superficial, debido a la alta concentración de materia orgánica (Rey y Bustamante, 1982).

2.4 Suelo

Los suelos son de origen volcánico, de textura fina, sin estructuras definidas por la gran cantidad de minerales sin cristalización. Sus características se enmarcan a zonas de relieve escarpado, accidentado y de laderas (Rey y Bustamante, 1982). En un estudio realizado por Cisneros (2000) basado en datos de la SARH (1981), menciona que los suelos de la zona, tienen su origen en cenizas volcánicas, clasificados como Andosól mólico + Luvisol crómico, con textura franca, color oscuro, poco pedregosos, ácidos y medianamente fértiles.

2.5 Hidrología

Huatusco, Veracruz está comprendido dentro de la gran cuenca de Papaloapan, principal río tributario la cuenca del río Jamapa, ubicado entre los 18°45' y 19° 14' latitud norte y 95°56' y 97°17' longitud oeste. Este río nace con el nombre de barranca de Coscomatepec en los límites del estado de Puebla y Veracruz a 4 700 m, siguiendo un curso oriente por terrenos montañosos y aproximadamente 50 km de su nacimiento por su margen izquierda afluye el río paso de los Gasparines, que se origina a 9 km al noreste de Huatusco a 1500 m, éste último forma un gran número de meandros (Pereyra y Pérez, 2005). Al momento de realizar los recorridos de campo en el bosque de niebla, se pudieron observar efluentes a los que le dominaron río Tlavictapan, ya que se crece en los remanentes de bosque y es utilizado en la comunidad con dicho nombre.

2.6 Clima

El clima de la región de estudio es (A) C M (m), que representa a un clima semicálido húmedo (García, 1981), con temperatura promedio de 19.1° C; precipitación pluvial media anual de 1763 milímetros (Hernández, 2006) con una irrigación de corrientes tributarias y manantiales que llegan al mar con el río Actopan y río la Antigua (Williams-Linera, 2007).

2.7 Bosque de niebla

El bosque de niebla también es conocido como bosque mesófilo de montaña o bosque caducifolio (Toledo, 2009), se presenta en zonas restringidas del territorio nacional con una distribución limitada y fragmentada, cubre aproximadamente el 0.5 % del país y se encuentra a lo largo de la Sierra Madre

Oriental y Occidental (Rzedowski, 1994). En el estado de Veracruz el bosque de niebla ocupa el 0.17% respecto al territorio estatal (Williams-Linera 2007). Presenta una precipitación de entre 1000 a 1500 mm, por lo regular alberga frecuentes neblinas y por consiguiente una alta humedad relativa (Rzedowsky, 1994).

2.8 Actividades productivas

Dentro del municipio el 52% de la superficie del suelo está destinado a la agricultura, 26% para pastizal, 17% para bosque, 3% para selva y un 2% para la zona urbana. Por lo anterior, la agricultura no es la principal actividad productiva ya que solo representa un 2% con aptitud mecanizable y un 58% de agricultura con tracción animal (INEGI, 2009). Los principales cultivos son el café con 5,567 has, el cual se maneja dentro de la modalidad de sistema agroforestal en su mayoría, en el cual se asocian el arbusto del café con árboles para leña, madera, frutales, etc. También se encuentra presente la modalidad de cultivo a pleno sol, en la cual solo se encuentra el monocultivo de café. Otro cultivo que se trabaja en menor superficie es la caña de azúcar con 5000 has, con un manejo totalmente convencional. El cultivo de maíz cubre aproximadamente 400 has, el chayote con 100 has y el anturio el cual es un cultivo ornamental con 210 hasbajo malla sombra (Hernández, 2006).

Dentro del aspecto agropecuario se tiene predominantemente la cría de ganado bovino lechero, en menor cantidad la producción de truchas y cerdos.

2.9. La materia orgánica como indicador de calidad del suelo

El suelo es un recurso natural y un sistema muy complejo; que permite el sostenimiento de las actividades productivas, que por su amplia variabilidad, es

difícil establecer una sola medida física, química o biológica que refleje su calidad (Bandick y Dick, 1999).

La calidad del suelo puede interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico; por ejemplo, para la actividad agrícola se consideran propiedades dinámicas como materia orgánica y diversidad de fauna (Romig *et al.*, 1995), asimismo, se considera la capacidad para proporcionar elementos esenciales que son finitos y limitan la productividad agrícola (Buol, 1995). Por lo tanto, se relaciona a la capacidad del suelo para funcionar en aspectos de fertilidad, productividad, sostenibilidad y calidad ambiental mejorando su utilidad y salud. Éste deberá funcionar dentro de los límites del sistema y sostener la productividad de planta y animales, mejorando la calidad del medio inmediato y sostener la salud humana y el hábitat (Bautista *et al.*, 2004).

Retomando a la materia orgánica del suelo como indicador del suelo, es importante mencionar su influencia en las propiedades físicas y químicas del mismo (Buckman y Brady, 1977). La fuente principal de la materia orgánica del suelo es el tejido vegetal, bajo condiciones naturales el follaje, raíz y tallos son los que aportan grandes cantidades de residuos orgánicos, contrario a los sistemas convencionales de producción actuales en los cuales la mayor parte de la planta es extraída. Estos restos vegetales son descompuestos y digeridos por la actividad microbiana del suelo, posteriormente al ser desechada por los mismos y/o cuando mueren los microorganismos se incorporan al suelo y llegan a constituir una parte de los horizontes del suelo. Dentro del proceso de descomposición de la materia orgánica se libera agua (75%), carbono oxígeno, nitrógeno, hidrogeno, elementos minerales y otros elementos orgánicos como el azufre (S), fosforo (P), potasio (K) y Calcio (Ca).

De forma general los suelos se forman por material mineral (45%), agua (25%), aire (25%) y materia orgánica (5%); variando según factores ambientales. La materia orgánica con menor presencia en el suelo, se encuentra entre un 12% y

20% en suelos de ecosistemas naturales, comparando con los suelos agrícolas los cuales tienen entre 1 y 5%, por el exceso de salidas de energía del sistema (Gliessman, 2002).

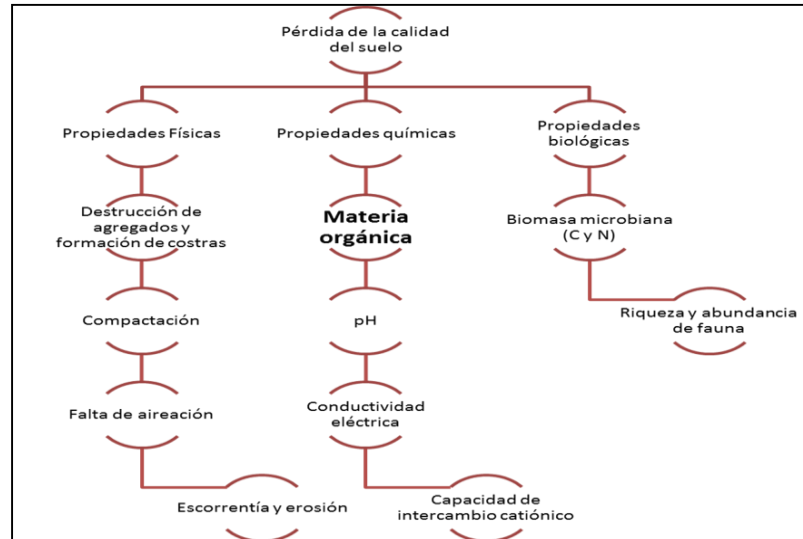


Figura 1. Relación de propiedades físicas, químicas y biológicas dentro de la calidad del suelo.

En ecosistemas maduros se observan flujos de energía basados en la presencia de complejas interacciones tróficas que favorecen una producción sustentable, situación contraria en agroecosistemas, en donde los flujos de energía son alterados según el objetivo de producción con inyección de energía externa.

La sustentabilidad mencionada se basa en ciclos de nutrientes que se desarrollan en el suelo, específicamente en la materia orgánica, permitiendo el movimiento de nutrientes, su distribución con mínimas pérdidas y un adecuado reciclamiento por microorganismos del suelo (Labrador, 1996), influyendo en propiedades físicas y químicas, por lo tanto la calidad del suelo se fundamenta en propiedades tanto físicas, químicas y biológicas (Figura 1) (Bandick y Dick, 1999).

En evaluaciones sobre la calidad del suelo se identifican procesos importantes para la funcionalidad del suelo, tal es lo encontrado en la revisión realizada por Navarrete (et al., 2011) en donde mencionan a la materia orgánica como indicador de la calidad del suelo junto con sus propiedades física, químicas y biológicas, las cuales a su vez se derivan de la presencia de ésta en el suelo, como se observa en la Figura 2.

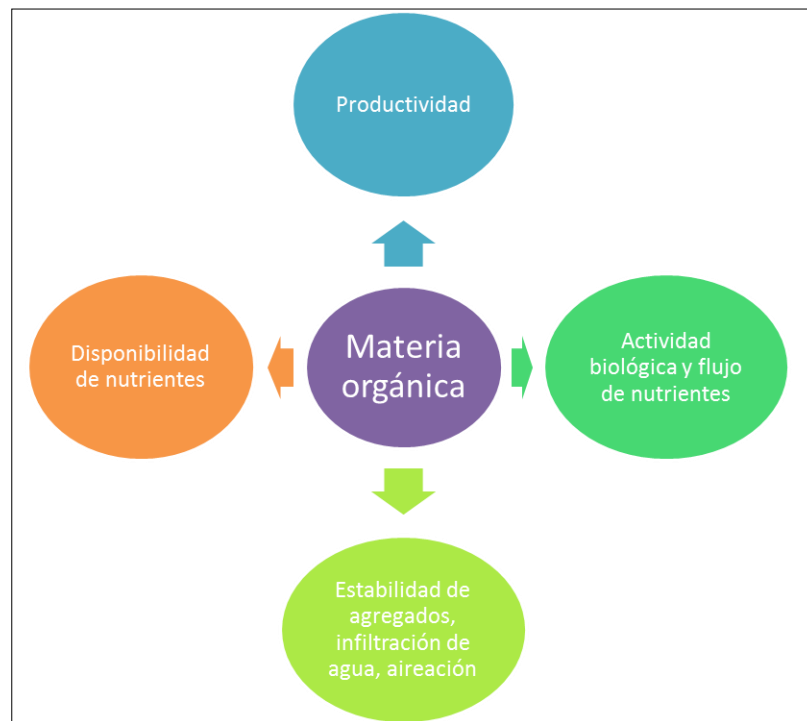


Figura 2. Relación de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con la materia orgánica del mismo.

2.9.1 Función de la materia orgánica

Se ha reconocido dentro del concepto de Calidad del suelo a la materia orgánica como uno de los elementos que mejora la productividad de éste (Franzluebbers, 2002), ya que interviene en procesos de peptización, coagulación, formación de quelatos y otros, asimismo funciona como una fuente

de energía, gracias a sus componentes de carbono, lo que fomenta procesos de formación del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Otras funciones de la materia orgánica se mencionan a continuación (Torres, 2000; Romero, 2013):

- a) Es una de las principales fuentes de nutrimentos en el suelo
- b) Fuente de alimento para fauna edáfica benéfica.
- c) Promueve la formación de agregados del suelo
- d) Incrementa la retención de nutrimentos y agua dentro del suelo
- e) Promueve un 50% la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.
- f) Amortigua los cambios bruscos de pH en el suelo
- g) Aumenta la capacidad de retención de humedad
- h) Libera más nitrógeno disponible para las plantas por la relación C/N en el suelo.

Por otro lado, la materia orgánica al biodegradarse modifica la cantidad de CO₂ liberado, el cual actúa en el intemperismo del suelo impartiendo propiedades óptimas que influyen en las características físicas del suelo como estructura, uniendo arcillas y formando complejos de intercambio catiónico, fomenta la infiltración del agua y aire (intercambio gaseoso), incrementa la porosidad y retención de humedad, incrementa el poder buffer del suelo, influye en el régimen de temperatura, retiene e intercambia nutrimentos y favorece la formación del suelo (Torres, 2000). En cuanto a propiedades químicas del suelo, ayuda a la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón que favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana de raíces (Julca-Otiniano *et al.*, 2006).

2.9.2. Incorporación de residuos de cosecha y la Materia orgánica del suelo

Los productos orgánicos resultantes del proceso de descomposición representan la materia orgánica no alterada, posteriormente transcurre el proceso de humificación que origina la fracción de la materia orgánica (De Brito, 2004), así mismo se libera agua (75%), carbono oxígeno, nitrógeno, hidrogeno, elementos minerales y otros elementos orgánicos como el azufre (S), fosforo (P), potasio (K) y Calcio (Ca).

La incorporación de residuos vegetales en los sistemas de producción, depende mucho del tipo de vegetal o cultivo implementado, de gran importancia es la relación carbono (Cuadro 1). Se ha observado que las pajas de los cereales pueden ser pobres en nitrógeno, con una relación C:N superior a 50, es decir que por cada gramo de nitrógeno tienen 50 g de carbono; en cambio, las leguminosas llegan a una relación C:N promedio de 18, pues contienen una mayor cantidad de proteínas en sus tejidos (Rodríguez, 1999). Dependiendo de la relación C:N que presente en la paja, es la rapidez de su descomposición en el suelo y aportación de nutrientes, por ejemplo en los sistemas de producción con gramíneas, se ha encontrado que las entradas de residuos vegetales son considerables por la cantidad de raíces y pajas, aumentando con el estiércol si se trata de pastoreo, el cual aporta el nitrógeno necesario para su descomposición (Wild *et al.*, 1992). Las gramíneas, particularmente los pastos tienen grandes masas radicales comparadas con los cereales (Francis *et al.*, 1999), sin embargo pueden hacer importantes aportaciones de humus, por ejemplo, una buena cosecha de trigo, cuyas pajas se entierran en la cantidad adecuada de nitrógeno, origina suficiente humus (1000–1200 kg ha⁻¹) para compensar las pérdidas anuales (Labrador, 1996).

Cuadro 1. Relación C:N de materiales que se incorporan al suelo.

Material	Relación C:N	Material	Relación C:N
Restos de serrerías	150 - 200	Residuos de cultivo del champiñón	30 – 40
Papel	150 - 200	Bovino: Purin	2 – 3
Paja: Caña de maíz	150	Lisin	5 – 8
Trigo/cebada	100	Estiércol con paja	15 - 30
Avena/centeno	60	Porcino: Lisier	4 – 7
Hojas: Aliso	20 – 30	Caballo: Estiércol	20 – 60
Abedul, roble, sauce	40 – 60	Ovino: Estiércol	15 - 20
Turba	30 - 100	Aves: Estiércol	10--15
Abonos verdes y césped	10—20	Materias fecales humanas	5--20
Planta leguminosas	10—15	Harina de sangre	3

Fuente. Labrador, 1996.

Existe evidencia que las raíces pueden ser más importantes en contribuir al almacén de carbono en el suelo que los aportes provenientes de los residuos de la parte aérea (Balesdent y Balabane, 1996), por ejemplo los restos vegetales que producen las leguminosas perennes forrajeras los cuales son considerados altos, aun cuando no se incorpore el 100% de la planta siendo superior a la de cultivos anuales y hortícolas, de tal manera que los sistemas que incluyen en sus prácticas la incorporación y la rotación de cultivos tienden

hacia un nivel de equilibrio superior y en menor tiempo al que se obtiene con rotaciones que generan menos residuos (Wild *et al.*, 1992).

Dentro de los resultados que se han obtenido de la incorporación de materia orgánica al suelo, se tienen el aumento en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, tal fue lo encontrado en la revisión realizada por Julca-Otiniano(*et al.*, 2006) en donde suelos que recibieron adiciones de composta tenía un contenido mayor de C, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn, contrario a los suelos que se fertilizaron convencionalmente, que solo fueron altos en P y K; lo anterior debido a la formación de mayor complejo de intercambio catiónico, lo que origina una mejor nutrición y desarrollo de la planta, asimismo encontró, que al aplicar 100, 200 y 300 kg/ha de composta de residuos sólidos urbanos y una aplicación complementaria de NPK, aumentaron el peso y altura de la planta, obteniendo una mazorca de mayor longitud y rendimiento en el grano.

La ventaja de la incorporación de composta (residuos vegetales descompuestos) es que se observan beneficios inmediatos y se mejora la cantidad de materia orgánica en el suelo, similar a la incorporación de residuos vegetales, aunque con éste último el proceso es más largo, pero también origina los beneficios mencionados tal es el caso de una granja situada en Argentina, en la cual en sus camas de cultivo aumentó después de 5 años la materia orgánica de 3% al 5.5% con la incorporación de centeno en invierno (Pía, 2005).

2.9.3. Influencia de la labranza en la calidad del suelo

El conjunto de técnicas aplicadas en la preparación de suelos se denomina labranza del suelo y se define como el arte de cultivar la tierra para una buena germinación de semillas y desarrollo de raíces de la planta a cultivar (Mannering y Fenster, 1983), asimismo, ayuda al control de malezas. Al momento de la labranza puede incrementar la porosidad de aireación y al incorporar residuos

de cosecha, con la labranza se acelera su descomposición (FAO, 1992), liberando nutrientes que promueven un alto rendimiento de los cultivos a implementar (Sá, 1999). No obstante, la intensidad de este tipo de técnicas conlleva a efectos negativos para el suelo como la compactación (FAO, 1992), formación de pisos de arado (Bravo y Florentino, 1999), disminuye la infiltración (Lal, 1997) fomentando la erosión y la pérdida de humedad (Navarro *et al.*, 2000), tal es lo encontrado por Bravo y Florentino (1997), en donde la humedad fue menor al momento de la siembra (16.7%) y en la cosecha bajo labranza convencional (12.5%) en los primeros 10 cm, comparado con dos sistemas de labranza mínima con adición de materia orgánica (21.9 y 17.9% en la siembra y 15.5 y 16.4 en la cosecha), en estos mismos sistemas se comparó la macroporosidad reportando su mayor presencia (24.7y 27.3 al momento de la siembra y 22.7 % y 22.8% al momento de la cosecha) en el sistema con labranza mínima y adición de materia orgánica que en el sistema con labranza convencional (20.9 y 15.8 % al momento de siembra y cosecha respectivamente). Sin embargo, la macroporosidad del suelo al ser modificada por el paso de maquinaria se convirtió en un problema cuando cayeron las primeras lluvias, en donde los macroporos colapsaron con el golpeteo de las gotas de agua, se taparon y no permitieron la infiltración de agua, originando mayor disponibilidad a una erosión hídrica (Bravo y Florentino, 2007), otro aspecto negativo de este fenómeno es que restringe el intercambio gaseoso lo que perturba de forma negativa la actividad microbiana del suelo (Doran *et al.*, 1998).

Los cambios en el uso o manejo del suelo influyen en el contenido de MO de dos formas: alterando el aporte anual que procede de la muerte de plantas y animales, y variando el ritmo con que se destruye esta MO (Zecaida, 2006). Asimismo, la labranza y rotación de cultivos pueden modificar la materia orgánica del suelo, en donde la labranza continúa juega un papel importante, debido a una aceleración de la descomposición de residuos incorporados dentro del suelo (Yusmary *et al.*, 2007), ya que la labranza rompe el suelo y entierra los residuos de las plantas. Estudios han demostrado que hay cambios

producidos en la materia orgánica por esta actividad, basados en diferencias en el Nt (Nitrógeno total) inducidas por una labranza continua (Yusmary *et al.*, 2007).

Actualmente se toma como técnica de manejo del suelo con menores efectos negativos a la labranza de conservación y a la siembra directa, encontrando como beneficios un control de la erosión, reducción de la inyección de combustibles, flexibilidad en la época de plantación, reducción de labores, mejora en la retención de agua, disminución de la evapotranspiración y es adaptable a la mayoría de cultivos y reducción en la necesidad de aperos (Reixach, 2012).

Otro método de producción de alimentos que se ha implementado en la producción de hortalizas y de ornamentales (Cita personal), es el método de doble excavado, el cual consiste en la remoción de 60 cm de profundidad de suelo, permitiendo un ambiente óptimo para el desarrollo de raíces, esta técnica es enriquecida cuando se complementa con los principios del método biointensivo, el cual procura el cuidado del suelo, su vida microbiótica y materia orgánica utilizando la técnica de reincorporación de residuos de cosecha ya procesados mediante el composteo, proceso que sucede en los ecosistemas naturales solo que de forma lenta. Otra de las características de este método es la siembra cercana que se implementa la cual te ofrece más producción en menos espacio, originando también un mulch natural, que al ser ocupado el espacio de forma intensiva no permite un rápido crecimiento de arvenses, reduce la evapotranspiración y crecimiento de hierbas no deseadas, asimismo practica la siembra de almácigos por tener ventajas sobre el mejor cuidado de las plántulas, eficiencia en el uso de la semilla, ahorro de espacio y agua (John *et al.*, 2006).

2.10. Producción de alimentos en el Centro agroecológico Las Cañadas

La producción de alimentos y satisfacción de necesidades humanas manteniendo la salud de los recursos naturales es el principal objetivo del Centro Agroecológico Las Cañadas, por lo cual han implementado diversas técnicas de producción, para cubrir la producción de lácteos, se apoyan en los sistemas silvopastoriles, para la producción de granos como maíz y frijol se utiliza el cultivo en callejones y con poca labranza del suelo; la producción de hortaliza se realiza dentro de un huerto basado en el método biointensivo, las frutas las obtienen del bosque comestible y algunos tubérculos los cultivan en callejones asociados con árboles. Lo importante de estas técnicas de producción es la filosofía que se aplica en cada una de ellas para lograr sistemas resilientes, es decir, que se recuperen de las perturbaciones causadas por las prácticas agrícolas y la cosecha, apoyándose de los siguientes criterios:

- 🍁 Uso de recursos renovables y sustitución de insumos externos
- 🍁 Reciclaje de nutrientes y energía
- 🍁 Conservación de recursos (suelo, agua, semillas, cultura, etc.)
- 🍁 El mejoramiento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo
- 🍁 Adaptación a los ambientes locales
- 🍁 Diversificación de especies (plantas y animales) en tiempo y/o espacio.
- 🍁 Manejo integrado del sistema en su totalidad (plagas y enfermedades).
- 🍁 Maximización de beneficios a largo plazo.
- 🍁 Valoración de la salud ambiental y humana.
- 🍁 Minimización y eliminación de tóxicos.

Uno de los elementos considerado como importante dentro de los sistemas mencionados es el suelo, en el cual se desarrollan actividades vitales del sistema, por lo tanto se cuida de no erosionarlo, extraerle y no retornar nutrientes, por ello es importante la adición de materia orgánica. Para la conservación de esta última se realizan compostas que se incorporan en cada ciclo de cultivo, se incorporan residuos de cosecha, se deja residuos vegetales sobre el suelo, se implementa la rotación de cultivos basados en características de plantas, si son donantes (leguminosas), extractoras o muy extractoras, originando un equilibrio en la extracción de los nutrientes dentro del suelo.

2.11. Sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales según Nair (*et al.*, 1999) son la integración simultánea y eficiente en el uso de la tierra, teniendo una aceptación social y ecológica, donde los árboles, cultivos y/o animales interactúan, obteniendo un incremento productivo de plantas y animales por unidad de producción o finca.

2.11.1. Clasificación de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales se clasifican con base a los diferentes componentes que puede haber en el sistema, su arreglo espacial y en el tiempo, su manejo y su objetivo; así mismo, Nair (1997), menciona que los criterios de clasificación tiene méritos y aplicabilidad en situaciones específicas que por ende también tiene limitaciones, concluyendo que ningún sistema de clasificación puede aceptarse como universalmente aplicable, por lo que la clasificación se deberá basar en los objetivos del sistema, tomando la como clasificación general lo siguiente:

Agrisilvicola: Que es la producción de árboles en combinación interactiva con cultivos, como el cultivo en callejones. Se le atribuye un arreglo de componentes como denso mixto

Agrosilvopastoril: Es la integración de la producción de árboles, cultivos y animales. Se le da un arreglo espacial en franjas con una función de protección, se le ubica más en los trópicos húmedos de tierras bajas y se atribuye un nivel de manejo comercial basado en la relación beneficio–costo.

Silvopastoril: Es la producción integrada de árboles, forraje y animales. Se atribuye un arreglo con árboles dispersos, con una función de producción de productos maderables y no maderables, se le ubica en trópico húmedo de tierras altas, arriba de 1200 msnm, se le califica con un nivel de manejo basado en mediano a alto uso de insumos.

Huertos familiares: Los cuales tiene una función productiva, basados en un nivel de uso de insumos bajo, poco espacio, puede o no llevar estrato arbóreo, pero que conjuga plantas de diferentes portes aprovechando el espacio.

Otros: Con árboles de uso múltiple, apicultura con árboles, acuacultura con árboles, en linderos como arreglo de componentes. Se le da la función de conservación de suelo, humedad y protección, se le ubica en los trópicos de tierras altas con un nivel de manejo de intermedio a subsistencia.

2.12 Manejo del sistema

Dentro de este apartado se describe el manejo los sistemas analizados en Las Cañadas con el objetivo de plantear claridad en su estudio.

2.12.1. Huerto

Dentro de los sistemas de estudio, se identifica un huerto manejado bajo el método biointensivo, el cual se inició en 1996, con cultivo de hortalizas, bajo el enfoque de reincorporación de residuos con la elaboración de compostas para el abonado, implica la rotación y asociación de cultivos, bajo un arreglo en camas de aproximadamente 1.5 m de ancho y el largo deseado con doble excavado, en donde el suelo de los primeros 30 cm es volteado y los siguientes 30 cm solo removidos, con el objetivo de tener mayor aireación, menor compactación y mejor desarrollo radicular, permitiendo una alta densidad de siembra por metrocuadrado. La siembra se realiza a tres bolillos asociando cultivos y rotando conforme lo marca el método biointensivo. El abonado se realiza al momento del trasplante o de la siembra con una cantidad de 70 kg/m² de composta de cocina, esta actividad se repite cuando se ha cosechado y se vuelve a excavar la cama para un nuevo abonado y siembra. Dentro del huerto se destinan espacios para cultivos perennes, con el objetivo de producir follaje para alimentar a la composta, se siembra cultivos como gigantón (*Tithonia diversifolia*), king grass (*Pennisetum purpureum*) y sauco (*Sambucus mexicana*).

2.12.2. Bosque comestible

Un bosque comestible es un huerto que imita la estructura de un bosque natural joven ubicándose dentro de la modalidad Agrisilvícola. Utiliza plantas que directa o indirectamente benefician a las personas, normalmente son plantas comestibles. Puede estar formado por árboles grandes, arboles pequeños, arbustos, hierbas perennes, cultivos de raíz, enredaderas, hongos y cultivos anuales, todas estas especies están plantadas de una manera en que se maximizan las interacciones positivas y se minimizan las interacciones negativas, en este sistema, la fertilidad del suelo se mantiene sobre todo por la

acción de las mismas plantas y por el reciclaje de la cosecha manteniendo los beneficios de un sistema natural (Romero, 2013)

Este sistema se inició en el año 2005 cuenta con un área de 7000 m² y tiene como objetivo el poder cosechar comida mientras mantiene los beneficios de un sistema natural, fomenta el reciclaje de nutrientes dentro de los diferentes estratos presentes, herbáceos, bejucos, arbustos y árboles frutales. En el estrato arbóreo se ubican especies como: acerola (*Malpighia glabra*), achiote (*Bixa orellana*), aguacate (*Persea americana*), algarrobo (*Ceratonia siliqua*), arrayán (*Myrtus communis*), canelero (*Cinnamomum zeylanicum*), capulín (*Prunus salicifolia* Kunth), capulin de mayo (*Ardisia compressa* o *Muntigia calabura*), cardamomo (*Elettaria cardamomum*), carisa (*Carissa Grandiolia*), chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), chinene (*Persea schiedeana*), chirimoya (*Annona cherimola* Mill), chirimoya geffner (*Annona atemoya*), ciruelo rojo (*Prunus domestica*), durazno (*Prunus persica*), feijoa (*Feijoa sellowiana* Berg), frambuesa roja (*Rubus idaeus*), guayaba (*Psidium guajava*), higo (*Ficus carica*), higuierilla (*Ricinus communis*), jaboticabo (*Myrciaria cauliflora*), jatropha (*Jatropha curcas*), jinicuil (*Inga jinicuil*), liliana (*Syzygium samarangense*), limón (*Citrus latifolia*), limón canario (criollo) (*Citrus araufolia*), limón eustis (*Limequat eustis*), limón Tavares (*Limequat tavares*), litchi (*Litchi chinensis* Sonn), entre otros. Dentro del criterio de incorporación de materia orgánica se realiza siembra de plantas como gigantón (*Tithonia diversifolia*), king grass (*Pennisetum purpureum*), vegetales destinados a la producción de biomasa, la cual se corta y se deja sobre el suelo, pretendiendo incorporar al suelo 845g/m²/año de hojarasca imitando al bosque de niebla de la zona.

2.12.3. Sistemas de producción de milpa Maíz-tejocote, Maíz-Araucaria y Maíz-ixcuabil

Estos sistemas se ubican en los sistemas Agrisilvícolas por tener cultivos en callejones, dentro de los sistemas agroforestales, tiene linderos de arbustos de gigantón (*Tithonia diversifolia*) y árboles alrededor (vegetación natural), se

identifican 3 sistemas, los cuales se denominan de acuerdo a la especie arbórea representativa, así en el sistema Maíz-tejocote, se tiene un árbol de tejocote, el sistema Maíz-Araucaria tiene un árbol de esta especie como cerco, así como gigantón (*Tithonia diversifolia*) y el sistema Maíz-ixcuabil, se ubica por tener un árbol denominado así cerca del sistema y arbustos de gigantón (*Tithonia diversifolia*).

En estos sistemas la siembra se mantiene con el enfoque de recirculación de nutrientes bajo la técnica de incorporación de residuos de cosecha y en algunos se incorporan abonos verdes como la avena (*Avena sativa*), asimismo se realiza la asociación de maíz (*Zea mays*) con frijol (*Phaseolus vulgaris*), el abonado se realiza con composta humana, aplicando 100 g/mata junto con la semillas al momento de la siembra.

2.12.4. Sistema agroforestal de tubérculos

Este sistema se encasilla dentro de sistemas agroforestales en la modalidad Agrisilvicola con cultivos en callejones, asocia hileras de árboles formando callejones, en los cuales se plantan estacas de yuca y plantas de malanga. En este sistema no se realiza movimiento del suelo, la siembra se realiza excavando el orificio para la siembra y al momento se abona con composta, el periodo de cosecha es de cada 6 meses, lo que origina una estabilidad en el suelo. La poda que se realiza al estrato arbóreo origina material vegetal que se deja sobre el suelo para su incorporación.

2.12.5. Sistema silvopastoril de ganado lechero

Sistema que al inicio fue potrero con manejo convencional, en 1996 se siembran árboles de colorín (*Erythrina sp.*) e ilites (*Alnus acuminata*), convirtiéndose en un sistema agroforestal, dentro de la modalidad de sistema silvopastoril: las especies vegetales mencionadas son elegidas por resistir las

podas y actualmente siguen establecidas a una distancia de 10 m entre hileras y 4 entre árboles; esta especie favorece el medio del suelo por la fijación de N que ejerce y se asocia con el pasto estrella. El ganado que se maneja actualmente es jersey 50% y criollo lechero 50%, aunque en un principio fue jersey 100%. En este sistema no se le da manejo al suelo, solo el abonado y la incorporación de podas de los árboles, y el paso del ganado en un sistema de rotación de potreros.

2.12.6. Bosque de niebla maduro y acahual

El bosque maduro representa la vegetación y el suelo original de la zona, en la cual no se realiza actividad productiva alguna, sin perturbación, este sistema sirve de base para conocer los cambios que se han introducido en los sistemas productivos.

En el área del sistema bosque acahual, se ubican áreas que fueron utilizadas con manejo convencional como potreros para ganado lechero, y a partir del año 1992 se dejaron de utilizar y permitió que la vegetación natural se regenerara formando un bosque joven el cual representa el nivel intermedio en el estado de recuperación del suelo, entre los sistemas de producción y un suelo sin alteración antropogénica como el del bosque natural.

3.-Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el estado físico y químico del suelo de los diferentes sistemas agroforestales y generar propuestas para mejorar el rendimiento de los cultivos con base al uso de insumos locales.

Objetivo 1: Evaluar el estado de la fertilidad del suelo de los diferentes sistemas agroforestales del Centro agroecológico Las Cañadas como indicador del impacto de las prácticas de manejo en el tiempo.

Objetivo 2. Desarrollar una propuesta de encalado de los suelos para corregir deficiencias de fósforo.

Objetivo 3: Identificar deficiencias y desbalances nutricionales en el suelo que limitan la producción de los cultivos y generar medidas de corrección mediante el uso de insumos locales.

4. Materiales y métodos

4.1. Fase de campo

Los sistemas agroforestales a estudiar se encuentran ubicados en el Centro Agroecológico Las Cañadas en el municipio de Huatusco, Veracruz, que corresponde a la zona centro del estado sobre la Sierra Madre oriental, en las coordenadas geográficas 19° 09' latitud norte y 96° 58' longitud oeste, a una altura entre los 1300 y 1500 m. La distancia más larga entre los sistemas es de 2.81 km que se ubica entre el huerto biointensivo y el sistema Maíz-frijol Araucaria, quedando los otros sistemas evaluados dentro de este transecto (Figura 3).

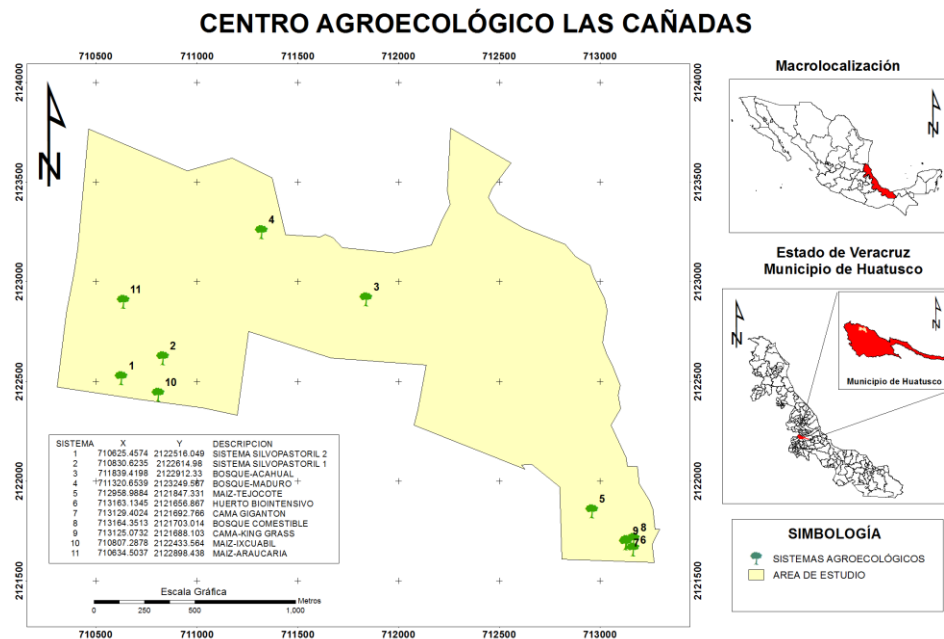


Figura 3. Ubicación de los sistemas agroforestales muestreados

Se realizó un recorrido por los sistemas de interés junto con las personas encargadas de cada sistema de manejo, para planear el criterio de muestreo,

así mismo se describió en forma detallada cada sistema, su manejo y producción. A partir de lo anterior se realizó un muestreo de suelo en cada uno de los sistemas, se analizaron las propiedades químicas y físicas.

4.2. Descripción de sistemas

En este apartado se describe a cada uno de los sistemas que fueron incluidos para analizar las propiedades físicas y químicas del suelo, su manejo y cultivos implementados.

Cuadro 2. Descripción del manejo y cultivos implementados en cada uno de los sistemas analizados

No.	Sistema	Fecha inicio	Manejo	Cultivos implementados	Fecha siembra	Fecha cosecha	Rendimiento	Sup.
1	Bosque Acahual	1995	Sin aprovechamiento	vegetación secundaria	1995			30 ha
2	Bosque de niebla		sin aprovechamiento					
3	Bosque comestible	2005	Cero labranza	Manejo por islas en las cuales se combinan diferentes frutales, las islas se denominan de la siguiente manera: Litchi (693.95), níspero (442.68m ²), granada depresión (221.76m ²), pejibaye (158.02), media (314.96 m ²), sabana (418.81m ²), nacedero (42.44m ²), macadamia (573.45m ²), naranja (448.36m ²), zapote (310.57m ²), condimento (374.22m ²), R. banana (829.72m ²), cisterna (453.38m ²), zarzamora (747.32m ²), mora azul (369.13m ²) y estanque (1043.59m ²).	2005 (árboles: 2005, anuales: cada año)	anual		7442.35 m ²

4	Maíz-Ixcuabil	2005	Paso de yunta	Milpa (maíz variedad jazmín) intercalada con frijol (variedad Tlalchete)		Febrero (frijol) maíz (mayo)	Mayo (frijol) Maíz (noviembre)	2.5 ton	2.5 ha
5	Tejocote (Parcela 6)	2005	Yunta	Maíz variedad Jazmin, avena (<i>Avena sativa L.</i>) como abono verde y barreras vivas de sauco (<i>Sambucus mexicana L.</i>)		mayo	Noviembre	2.5 ton	2,232.7 m ²
6	Araucaria: Maíz-frijol	2009	Barbecho realizado con tractor, surcado realizado con yunta	maíz variedad Jazmín	Frijol variedad Tlalchete	Mayo	Nov		2.5 ha
7	Bosque de tubérculos	2011	Suelo sin laboreo	809 plantas de malanga (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>) y yuca (<i>Yuca spp</i>), asociadas con 60 arboles de timbre (<i>Acacia angustissima</i> (Mill.) Kuntze) e ilites (<i>Alnus acuminata</i> Kunth)		2011	a lo largo del año		
8	Huerto biointensivo (cultivos anuales y perennes)	1996	Método biointensivo (rotación y asociaciones)	Primavera: pimienta, chícharo, col, gigantón, frijol, soya, lechuga, camote, jitomate, acedera, berenjena; Verano: chícharo, pimienta, zacate limón, Maíz, frijol, zanahoria, maíz, frijol, lechuga, camote, gigantón, acedera, y tomate verde; Invierno: acelga, pimienta, acedera, espinaca, ejote, gigantón, lechuga, zacate limón, chícharo y zanahoria.		A lo largo año	A lo largo del año		548.44 m ²
9 y 10	Sistema silvopastoril	2007	Laboreo mínimo del suelo	ilites (<i>Alnus acuminata</i> Kunth), pasto estrella (<i>Cynodon plectostachium</i>)		11 pasos del ganado anual	Diaria	6-7 lts leche/día/ vaca	10 ha
11	H. B. Gigantón	1996	Método biointensivo	Gigantón (<i>Thitonia diversifolia</i>)		Perenne	Semestral	4 kg ms/m ²	303.96 m ²
12	H. B. King grass	1996	Método biointensivo	King grass (<i>Penisetum purpureum</i>)		Perenne	Semestral	9 kg ms/m ²	303.96 m ²

Cuadro 3. Abonado realizado en los sistemas ecológicos en años anteriores

No	Sistema	año	Aplicaciones(kgo l)							
1	Sistema silvopastoril-1	2010	Cal dolomita	Roca fosfórica	Granubor-14	Profer-G14	Profer 11-21	Prosulman-c	Sulfato de cobre	Prozinc-C
	kg /ha		808	500	17	64	42.5	18.2	2.2	30
2	Sistema silvopastoril-2	2010	Roca fosfórica	Sulfato de magnesio (Sal epton)	Granubor-14	Profer-G14	Prosulman-c	Sulfato de cobre	Prozinc-C	
	kg/ha		500	7.5	17	57.5	11	2.2	32	
3	Bosque comestible 7442 m ² (1 ha)	2011	Carbonato de Calcio	Roca fosfórica	azufre	zinc	Sulfato de manganeso	Sulfato de cobre	Boro	
			0.07258	0.227	0.00709	0.00735	0.02523	0.17	0.00284	
			0.0975	0.305	0.0095	0.0099	0.0339	0.2284	0.0038	
4	Ixcuabil	2009	Abono fermentado foliar	Plantas /ha(60*70)						
	25000 m ² 1 ha			23809.52						
5	Tejocote	2011	Composta humana	Cal dolomita	Roca fosfórica	azufre	Sulfato de zinc	Sulfato de manganeso	Boro	Biomasa/ fresca avena
	2233 m ²		2.251	111.4	50.6	1.27	1.33	5.51	0.63	5.3 kg/m2
	1 ha		10.08	498.88	226.6	5.69	5.96	24.68	2.82	53000
6	Araucaria Maíz Jazmín (61880 plantas)	2011	Composta humana kg	Roca fosfórica kg	Azufre kg	Sulfato de zinc kg	Sulfato de manganeso kg	Sulfato de cobre kg		
	26000 m ² 1 ha		767	4606	126.64	76.48	500.9	28.78		
7	Bosque de tubérculos	2012	Orina fermentada lt	Hueso molido						

	2044 m ²		953	1.3					
	10000 m ²		4662.5	6.36					
8	Huerto biointensivo (cultivos anuales y perennes)	2011	Composta cocina kg	Hueso molido	Roca fosfórica gr	Sulfato de manganeso	Azufre	Boro	
	10 m2		78	0.06	0.2268	0.0193	0.0074	0.0026	
	10000 m2		78000	60	226.8	19.3	7.4	2.6	
11 y 12	H. B. Gigantón y King grass	2011	Composta cultivos perennes kg 6 cubetas de 20 kg	Orina humana	Hueso molido	Roca fosfórica	Sulfato de manganeso	Azufre	Boro
	10m2		78	0.2	0.06	0.2268	0.0193	0.0074	0.0026
	10000 m2		78000	200	60	226.8	19.3	7.4	2.6

4.3. Muestreo de cada sistema

En cada sistema se realizó un muestreo de suelo, para su división en áreas homogéneas, se tomó en cuenta el conocimiento que tienen las personas que lo trabajan. El sistema de muestreo fue en zig zag y se colectaron 20 submuestras por muestra compuesta de suelo por sitio, para ello, se utilizó una barrena tubular y bolsas de plástico las cuáles fueron debidamente etiquetadas.

4.3.1. Sistema Silvopastoril

En este sistema se agruparon las áreas por la cantidad de forraje producido (Figura 4):

1. Potreros con muestra compuesta número 2: Área con baja producción de forraje: 1, 2, 9, 11, 12 y 13.
2. Potreros con muestra compuesta número 1: Área con buena producción de forraje: 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10.



Figura 4. Sistemas silvopastoriles con vacas jersey (1/2) -criollas (1/2) lecheras.

4.3.2. Sistema Maíz-frijol

Elegidas por que se les da un manejo similar, el trabajo de la tierra se realiza con yunta y se abona con composta de diferentes materiales.

4.3.3. Sistema Maíz-Araucaria

Sistema dedicado a la producción de frijol y maíz, de donde se obtuvo una muestra compuesta basada en 25 submuestras de suelo.



Figura 5. Sistema agroforestal en callejones con *Thitonia diversifolia* de milpa y frijol.

4.3.4. Sistema Maíz-Ixcuabil

Sistema dedicado a la producción de frijol y maíz. Se obtuvo una muestra



compuesta basada en 25 submuestras.

Figura 6. Área del sistema Maíz-Ixcuabil en barbecho

4.3.5. Sistema Maíz-Tejocote

Sistema Maíz-Tejocote, dedicado a maíz y frijol, en un arreglo en callejones con arbustos de sauco (*Sambucus nigra*) y gigantón (*Thitonia diversifolia*).



Figura 7. Sistema de milpa y frijol, en donde se colectaron 20 submuestras

4.3.6. Huerto biointensivo

Se colectaron cinco submuestras por cama de hortalizas que estuviera libre de cultivo.



Figura 8. Huerto casero bajo el método biointensivo y elaboración de compostas

4.3.7. Cama biointensiva con gigantón

Cama con gigantón destinado a la producción de biomasa de 4 a 5 submuestras por cama (5 camas).



Figura 9. Cama biointensiva plantada con gigantón (*Thitonia diversifolia*)

4.3.7. Cama biointensiva con king grass

Espacio destinado a la producción de biomasa, se colectaron 5 submuestras en 5 camas.



Figura 10. Cama biointensiva con King grass (*Pennisetum purpureum*)

4.3.9. Bosque comestible

Sistema de árboles frutales con cultivos perennes y anuales



Figura 11 Sistema agroforestal se colectó una muestra compuesta de suelo.

4.3.10. Sistema agroforestal de tubérculos

Sistema con yuca y malanga, en asociación con árboles de flemingia e ilites.



Figura 12. Sistema agroforestal con 25 submuestras de suelo.

4.3.11. Bosque secundario

Espacio destinado a la regeneración vegetal desde 1995, en la cual no se realizan actividades productivas.

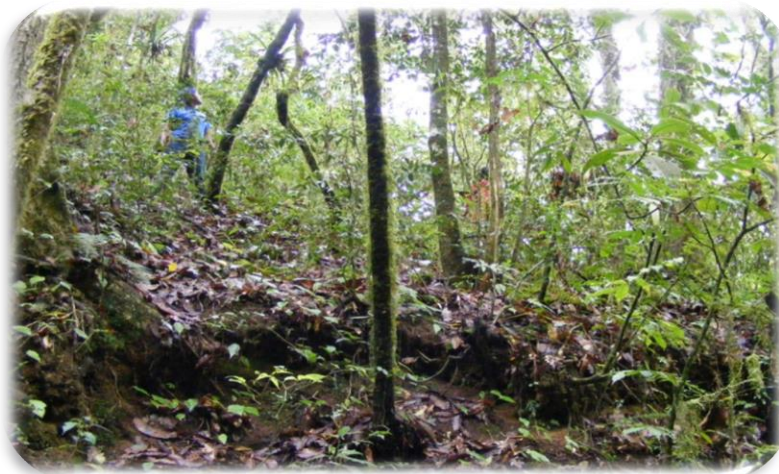


Figura 13. Vegetación del bosque en donde se colectaron 25 submuestras

4.3.12. Bosque maduro

Área de bosque conservado de aproximadamente 200 a 300 años de edad, en el cual no se realizan actividades de aprovechamiento. Se realizó un recorrido, obteniendo 25 submuestras para una muestra compuesta.



Figura 14. Vegetación del bosque de niebla maduro

4.4. Fase Laboratorio

Las metodologías empleadas en las determinaciones analíticas químicas y físicas realizadas a las muestras de suelo y los insumos utilizados.

4.4.1. Propiedades químicas

Para conocer las propiedades químicas del suelo se dejaron secar las muestras de suelo en la sombra y posteriormente fueron cribadas y molidas. En el

siguiente cuadro se aprecia la propiedad química analizada y la metodología empleada respectivamente.

Cuadro 4. Metodologías empleadas para la determinación de propiedades químicas en muestras de suelo de los diferentes sistemas agroforestales.

Elemento	Metodología
Materia orgánica (MO)	Método Walkley y Black
Nitrógeno total (NT)	Método Semimicro-Kjendahl
Nitrógeno inorgánico (Ni)	Nitrógeno inorgánico extractable en KCl_2N
P-olsen (P)	P extractable. Método Olsen
Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Potasio (K) y Sodio (Na)	Extracción con CH_3COONH_4 1N pH 7 y Cuantificación por absorción atómica y fotometría de llama
Zinc (Zn), cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn)	Micros en DTPA
Azufre (S)	Extracción de azufre disponible con .05 M NH_4O ácido. acético y determinación por turbidimetría
Boro (B)	Extracción de Boro en $CaCl_2$ 1.0 M
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Método para suelos no calcáreos y pH próximo a la neutralidad

Álvarez-Sánchez M. E. Marín-Campos A. 2012. Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta. Laboratorio de suelos, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México.

4.4.2. Análisis de insumos locales utilizados como abonos en los sistemas agroforestales

Para generar una propuesta de nutrición de cultivos y de mejora en los suelos, se recopilaron muestras de las enmiendas que se implementan como abonos y que se mencionan a continuación:

Enmiendas utilizadas dentro de los sistemas para la nutrición de cultivos:

- 1.- Composta elaborada con residuos de cocina.
- 2.- Composta de ordeña: Elaborada con estiércol de vacas lecheras

- 3.-Composta humana
- 4.- Composta cultivos perennes; (gigantón y pasto king grass).
- 5.- Ceniza de leña: Desecho de cocina
- 6.- Hueso quemado y molido:
- 7.- Orina humana
- 8.- Follaje gigantón
- 9.-Follaje king grass

En el Cuadro 5 se muestran las propiedades químicas a analizar y la respectiva técnica, de las enmiendas utilizadas en el Centro Agroecológico Las Cañadas, para la nutrición de cultivos.

Cuadro 5. Propiedades químicas determinadas en las enmiendas utilizadas en la nutrición de cultivos de los sistemas agroforestales de Las Cañadas

Enmienda	Metodología
Nitrógeno	Método semimicro-Kjendahl, modificado para incluir nitratos
Solubilización de Fósforo, Calcio, magnesio, potasio, azufre, sodio, hierro, cobre, cinc, manganeso y boro	Por digestión con mezcla de ácido perclórico/ácido Nítrico
Fósforo	Método de Molibdato-Vanadato de amonio
Potasio	Determinado por Flamometría
Calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc y manganeso	Determinado por adsorción atómica
Azufre	Método turbidimétrico
Boro	Método de la Azometina-H

Álvarez-Sánchez M. E. Marín-Campos A. 2012. Manual de Procedimientos Analíticos de Suelo y Planta. Laboratorio de suelos, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México.

4.4.3. Propiedades físicas

A las mismas muestras de suelo colectadas de cada sistema de estudio, se les molió y pasó por un tamiz de 2 mm y se les determinaron las siguientes propiedades físicas (Cuadro 6):

Cuadro 6. Metodologías empleadas para la determinación de propiedades físicas en muestras de suelo de los diferentes sistemas agroforestales.

Propiedad	Método	Referencia bibliográfica
Textura	Método del hidrómetro de Bouyoucos	Gandoy, 1982.
Densidad real	Método del Picnómetro	Gandoy, 1982.
Densidad aparente	Método de la probeta	Gandoy, 1982.
Porosidad	Porosidad Total	Luis, 2007
Constantes de humedad	Curva de la retención de humedad	Gandoy, 1982.
Conductividad hidráulica	Método del permeámetro	Núñez, 2006.
Agregados estables	Método de un solo tamiz	USDA, 1999

5. Resultados y discusión

En este apartado se describe lo encontrado y analizado con relación a las propiedades químicas y físicas de los sistemas de estudio.

5.1. *Propiedades químicas*

En el Cuadro 7 se presentan las características químicas de los suelos de Las cañadas sometidos a diferentes tipos de manejo.

En general, el pH fue clasificado como moderadamente ácido (entre 5.1 y 6.5) y sólo en el sistema biointensivo se ha logrado incrementar el pH a neutro (6.61), esto debido a la adición de composta preparada a partir de residuos de cocina y cenizas de hueso molido, cuyo pH es de 7.0 (Cuadro 10). La composta ha sido adicionada en una proporción de 70 kg/10m² dos veces al año. Por otra parte, con excepción de los suelos de los sistemas bosque maduro y maíz-tejocote cuyo pH es inferior a 5.5, puede inferirse que la actividad del aluminio en los suelos de los distintos sistemas de manejo no es el principal causante de la deficiencia de fósforo, ya que la máxima actividad del Al se presenta a pH menor de 5.5 (Bernier y Alfaro, 2006).

En cuanto a la concentración de materia orgánica, de acuerdo con su característica de suelos de origen volcánico, el 64% de estos presenta una concentración media (de 6.1 a 10.9 %); en los sistemas maíz-ixcuabil, maíz araucaria y bosque comestible este parámetro es alto (>10.9 %) y en la cama de gigantón el contenido fue muy bajo (4.33%). Este indicador refleja contundentemente los efectos del manejo en los distintos sistemas, ya que como se observa en el Cuadro 7 el sistema bosque maduro que puede considerarse como el testigo de las condiciones naturales originales en equilibrio (suelo-clima-vegetación), muestra una concentración de materia orgánica de 7.42 % y con los distintos manejos, a lo largo de aproximadamente

20 años de su instauración, han superado sustancialmente este contenido, excepto en el sistema cama de gigantón, manejo con el cual se ha contribuido a acelerar la oxidación de la materia orgánica nativa. De acuerdo con Gleissman (2002) la materia orgánica con mayor presencia en el suelo, se encuentra entre un 12% y 20% en suelos de ecosistemas naturales, comparando con los suelos agrícolas los cuales tienen entre 1 y 5%, por el exceso de salidas de energía del sistema. En los ecosistemas maduros se observan flujos de energía basados en la presencia de complejas interacciones tróficas (como un sistema cerrado) que favorecen una producción sustentable, situación contraria en agroecosistemas tradicionales, en donde los flujos de energía son alterados según el objetivo de producción con inyección de energía externa. En el centro agroecológico Las Cañadas, las zonas que en su momento fueron para uso exclusivo ganadero (cambiando el uso del suelo de bosque de niebla). Ahora se dejó regenerar en zonas por la vegetación nativa, otras se dedicaron a zonas de cultivo y a otras se les dedicó a uso silvopastoril, desde hace 20 años aproximadamente. La transformación se dio basada en los principios de los sistemas cerrados, es decir, lo que se extrae del suelo a través de la producción, se devuelve a través del uso de desechos orgánicos producidos en el mismo sistema; además también consideran los pilares agroecológicos (Gliessman, 1998), esto es, sistemas diversificados de bajos insumos y el manejo orgánico del suelo -Las Cañadas puede considerarse casi orgánico- conformado un sistema de reciclaje de nutrientes con mínimas pérdidas. Todas estas actividades han contribuido al subsidio de la acumulación de materia orgánica del suelo. Contrario a estos pilares de producción, las camas de gigantón están destinadas únicamente a la producción de carbono, donde continuamente se está extrayendo la biomasa aérea para usarla como fuente de carbono de los suelos de los otros sistemas de producción y en la preparación de compostas, sin devolverle ningún insumo, en un proceso de simulación al monocultivo; con las consecuencias de agotar las reservas de materia orgánica aún por debajo del bosque maduro.

Todos los suelos de los sistemas resultaron ricos en nitrógeno total, sin embargo, los niveles de nitrógeno inorgánico fueron medios a bajos. Esto que es de esperarse por la precipitación pluvial de la zona que es alta (1763 mm al año) lo que promueve la lixiviación de nitrógeno inorgánico (NH_4+NO_3) aun cuando se realizan buenas prácticas de manejo (Stopes *et al.*, 2008).

En cuanto a la disponibilidad de fósforo, con excepción del bosque acahual, biointensivo y cama de gigantón, los niveles de fósforo en el suelo son bajos (< 5.5-11 ppm), a pesar de que el pH de los suelos no tienen un valor que indique que el Al es el factor causal de esta baja disponibilidad. Sin embargo, si se observan que los valores de hierro disponible en el suelo, superan por mucho el valor considerado como adecuado (>4.5 ppm). Diferentes estudios han identificado una relación molar entre el hierro ferroso y los iones ortofosfato en el que estos iones fluyen a superficies oxidadas de minerales de óxidos de hierro, mismos que se forman en condiciones aeróbicas del suelo y que promueven la adsorción de los iones ortofosfato. Se ha argumentado que una alta relación Fe:P gobierna el flujo de la formación de nuevos sitios de adsorción de los ortofosfatos cuando el óxido ferroso es oxidado a férrico en la superficie del mineral de tal forma que una alta relación previene liberación de ortofosfatos de la superficie del mineral oxidado. Jensen *et al.*, (1992), encontraron que en el seguimiento de contaminación de lagos poco profundos, siempre que la relación Fe: P está por encima de 15 se amortigua la concentración de iones ortofosfato por la formación de superficies oxidadas, lo que resulta en una herramienta útil y fácil de medir. La aplicación de esta relación en los niveles de Fe y P disponibles en el suelo de este estudio, muestran que dicha relación podría ser menor (Ver figura 15) y que resultaría de mucha utilidad estimarla para diferentes suelos.

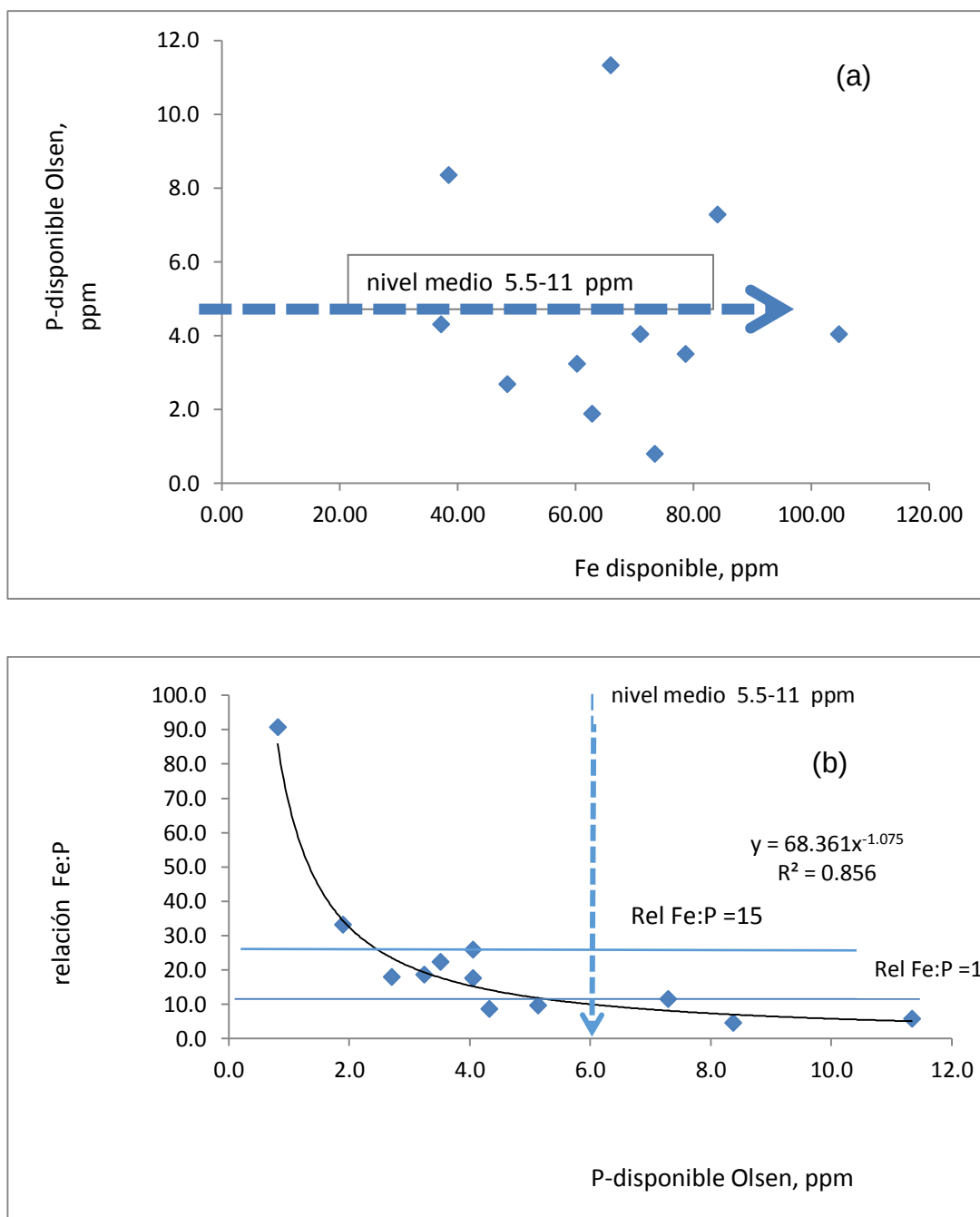


Figura 15. Relación entre el Fe disponible extraído con DTPA y el P disponible Olsen (a), y entre la relación Fe:P disponible y el P-disponible (b).

Con excepción de bosque acahual y bosque maduro en todos los sistemas se aplica roca fosfórica y en el huerto biointensivo, cama gigantón y King grass hueso molido (Cuadro 3 en materiales y métodos). Sin embargo, solo se ha alcanzado la concentración media de fósforo en el huerto biointensivo y cama de gigantón. Esto es un reflejo de la dinámica de retención de este elemento en estos suelos y en la cama de gigantón puede estar ocurriendo un proceso de disponibilidad gracias a la relación del gigantón (*Thitonia diversifolia*) con el fósforo (Jama *et al.*, 2000).

Cuadro 7. Resultado de análisis químicos de los distintos suelos de los sistemas agroforestales en Las Cañadas

	pH	CE	MO	N total	Ni	P- Olsen	Ca	K	Mg	S- SO4	Mn	Fe	Zn	Cu	B	CIC
Identificación		μS	%								Ppm					me/100 g
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7)	(7)	(8)	(9)	(9)	(9)	(9)	(10)	(7)
Bosque acahual	5.60	94.5	8.67	0.29	23.52	7.3	1206	244	330	33.2	7.48	84.10	1.92	0.93	0.18	32.8
Interpretación	Mod. ácido	sp ¹¹	medio	Muy rico	Medio	Medio	medio	Alto	medio	alto	adecuado	adecuado	adecuado	Bajo	Muy bajo	
Bosque maduro	5.40	80.9	7.42	0.36	19.6	1.9	1140	194	261	26.1	8.12	62.84	1.20	0.80	1.01	35.9
Interpretación	Mod. ácido	sp	Medio	Muy rico	Medio	Bajo	medio	Medio	medio	alto	adecuado	adecuado	adecuado	Bajo	bajo	
Bosque comestible	6.04	114.5	12.50	0.61	15.68	2.7	1322	494	358	34.1	6.37	48.39	3.33	1.08	0.12	34.3
Interpretación	Mod. ácido	sp	Alto	Muy rico	Bajo	Bajo	Medio	Alto	medio	alto	Adecuado	adecuado	adecuado	Bajo	bajo	
Maíz-ixcuabil	5.63	96.7	11.42	0.41	15.68	3.2	1092	494	201	29.1	1.90	60.22	1.42	1.45	1.37	28.6
Interpretación	Mod. ácido	sp	Alto	Muy rico	Bajo	Bajo	medio	Alto	medio	alto	Adecuado	adecuado	adecuado	Bajo	bajo	
Maíz-Tejocote	5.37	100.1	8.67	0.41	27.4	4.0	4728	444	154	93.3	4.78	70.94	3.13	1.92	0.24	30.0
Interpretación	Mod. ácido	sp	medo	Muy rico	Medio	Bajo	Alto	Alto	bajo	alto	Adecuado	adecuado	adecuado	Bajo	bajo	
Maíz-Araucaria	5.69	141.8	11.92	0.49	27.44	5.1	1154	544	247	38.8	4.64	49.76	2.26	1.94	0.12	31.2
Interpretación	Mod. ácido	sp	Alto	Muy rico	Medio	Bajo	Medio	Alto	medio	alto	Adecuado	adecuado	adecuado	Bajo	bajo	

Bosque tubérculos	5.68 Mód. ácido	87.4 sp	8.58 medio	0.46 Muy rico	19.6 Bajo	0.8 Bajo	1268 Medio	514 Alto	207 medio	52.8 alto	3.38 Adecuado	73.42 adecuado	1.87 adecuado	1.00 Bajo	0.54 bajo	32.2
Interpretación																
Biointensivo	6.61	142.3	9.12	0.48 Muy rico	27.44	11.3	2196	954	706	18.5	8.39	65.92	19.74	2.10	0.06	36.4
Interpretación	neutro	sp	Medio		Medio	Medio	alto	Alto	alto	alto	Adecuado	adecuado	adecuado	adecuado	bajo	
Potrero-ordeña 1 (Buen forraje)	5.66 Mod. ácido	100.2 sp	8.33 medio	0.40 Muy rico	27.44 Medio	3.5 Bajo	920 Bajo	494 Alto	258 medio	23.3 alto	20.79 adecuado	78.62 adecuado	2.56 adecuado	1.74 Bajo	0.72 bajo	26.0
Interpretación																
Potrero-ordeña2 (Poco forraje)	5.72 Mod. ácido	98.4 Sp	10.33 Medio	0.43 Muy rico	19.6 Bajo	4.0 Bajo	902 Bajo	424 Alto	258 medio	20.7 alto	68.34 adecuado	104.64 adecuado	2.82 adecuado	1.69 Bajo	0.12 bajo	29.6
Interpretación																
Cama Kingrass	6.06 Mod. ácido	91.3 Sp	10.75 medio	0.44 Muy rico	27.44 Medio	4.3 Bajo	1158 medio	344 Alto	264 medio	25.6 alto	2.88 adecuado	37.19 adecuado	1.28 adecuado	0.73 Bajo	0.54 bajo	29.1
Interpretación																
Cama gigantón	6.38 Mod. ácido	121.8 Sp	4.33 bajo	0.47 Muy rico	23.52 Medio	8.4 Medio	2024 Alto	774 Alto	375 alto	24.4 alto	5.45 adecuado	38.43 adecuado	8.74 adecuado	1.34 Bajo	0.06 bajo	33.3
Interpretación																

^{1,2} en agua, relación 1:2 y 1:5; agua, respectivamente; ³Walkley y Black; ⁴semimicroKjeldahl; ⁵ extraído con NaHCO₃ a pH 8.5; ⁷Acetato de amonio 1 N neutro; ⁸Acetato de amonio 0.05M+ácido acético 0.25M y determinación por turbidimetría; ⁹extraídos con DTPA; ¹⁰Extracción con CaCl₂ 1.0 M.
¹¹sin problema de sales

En cuanto a cationes intercambiables, el 64% y 82% de los sistemas presenta una concentración media en calcio y magnesio, respectivamente, bajo en los potreros y consistentemente alto en el H. biointensivo y C. gigantón. Estos niveles son resultado de la aplicación de cal dolomita, carbonato de calcio, realizados en diferentes años en los sistemas de producción con excepción de los silvopastoriles.

El sistema de bosque maduro y bosque acahual, indican que de acuerdo con las condiciones naturales de precipitación pluvial, suelo y vegetación, la condición natural de equilibrio conduce a niveles medios de Ca y Mg, en tanto que en K, los niveles son altos debido a la naturaleza volcánica de los suelos. Sin embargo, se precisa regular las relaciones Ca:Mg:K para una adecuada nutrición de los cultivos (Eckert, 1987).

Todos los sistemas resultaron suficientes en azufre disponible, esto debido a las altas concentraciones de materia orgánica, reservorio principal de este nutriente (Fageria, 2009).

En cuanto a micronutrientes, con excepción del biointensivo, los sistemas resultaron deficientes en cobre y boro especialmente. El boro como anión (H_2BO_4^-) sufre un proceso de retención semejante al fósforo, lo que explica su baja disponibilidad (Fageria, 2009).

5.1.1. Necesidades de encalado

Es importante corregir el pH de los suelos para mejorar la disponibilidad de P e incrementar Ca y Mg. En la Figura 16 se observa la capacidad amortiguadora del suelo para cambiar el pH en los sistemas de estudio (Aguilar *et al.*, 1987).

Debido a la gran capacidad amortiguadora que presenta el suelo, sería impráctico y representaría un alto costo monetario y ecológico realizar aplicaciones de cal para modificar el pH. Por tanto, se optó por el uso de yeso

en la corrección de las necesidades de calcio y su balance con magnesio y potasio (Ver Cuadro 8).

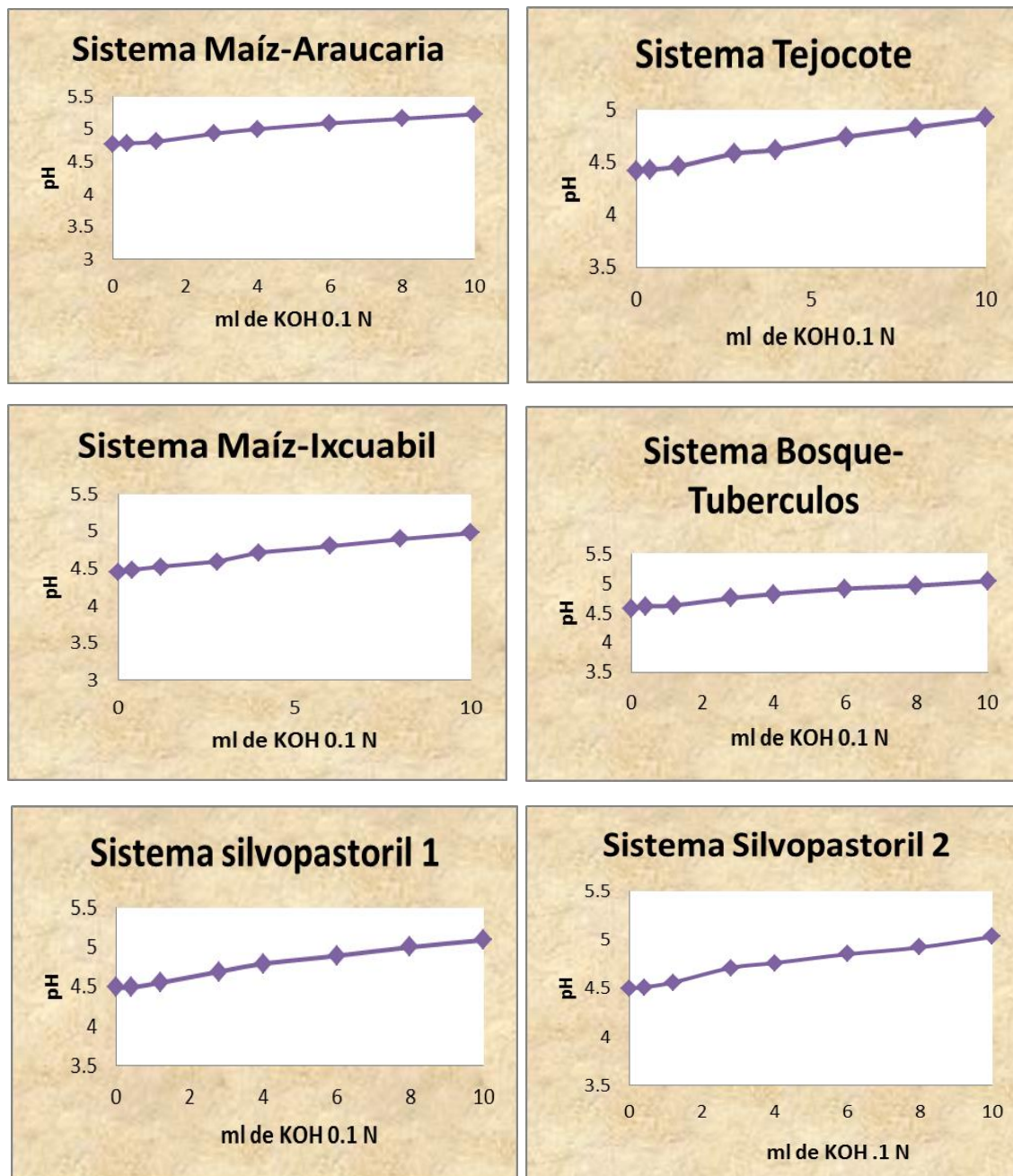


Figura 16. Curvas de encalado en suelo de sistemas Agroforestales con pH moderadamente ácido.

.1.2. Necesidades de abonado por sistema

Cuadro 8. Recomendaciones de abonado por sistema, con base en los análisis químicos de suelo para macronutrientes.

Sistema	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO ^z	MgO	Urea ^y	KCl ^x	Yeso ^w	
								Dosis	Forma de aplicación
----- kg ha ⁻¹ -----								kg ha ⁻¹ año	
Bosque comestible	93	71	0	826	12	202	0	367	Fraccionado durante el período de lluvia
Maíz-ixcuabil	93	70	0	691	33	202	0	306	
Maíz-Tejocote	89	68	0	0	46	193	0	0	Con la labor de cultivo y lluvia
Maíz-Araucaria	89	66	0	762	29	193	0	338	
Bosque tubérculos	91	75	0	771	40	199	0	342	Con la labor de cultivo
Biointensivo	89	52	0	705	0	193	0	313	Con la frecuencia de la rotación o en descanso de la cama
Potrero-ordeña 1 (Buen forraje)	89	69	0	644	14	193	0	286	En 3 aplicaciones en el período de lluvias
Potrero-ordeña2 (Poco forraje)	91	68	9	766	23	199	15	340	En 3 aplicaciones en el período de lluvias
Cama King grass	89	67	44	693	20	193	73	308	Con la labor de cultivo
Cama gigantón	90	59	0	641	6	196	0	284	Con la labor de cultivo

^z necesidades de Ca que se proyectaron corregir en 7 años; ^y grado del fertilizante 46 % N; ^x grado del fertilizante 60% K₂O; ^w grado del CaSO₄23% Ca.

En el Cuadro 8 se presenta una proyección en un periodo de siete años para mejorar la disponibilidad de P y equilibrar la relación K:Ca:Mg necesarias para el crecimiento óptimo de los cultivos (Eckert, 1987). Asimismo, se indican los

nutrientes e insumos a aplicar en cada sistema. No se incluyen los sistemas bosque maduro y acahual por ser condiciones naturales y en equilibrio del bosque mesófilo de montaña.

De acuerdo con el Cuadro 7, se puede observar que K, Na, S y Fe, no se encuentran deficientes y se reincorporan continuamente (se recirculan) con la aplicación de compostas locales. Aquellos nutrientes identificados como deficientes (dadas las condiciones de clima y génesis del suelo), sólo se han introducido esporádicamente y en cantidades insuficientes para cubrir dicha necesidad (ver Cuadro 3). Por ejemplo, con el manejo tradicional en el sistema Maíz-araucaria, (Cuadro 3) en el caso del magnesio, sólo se adiciona el 52.2% de lo estimado en la presente investigación; en boro se cubre el .93.5 de lo recomendado, pero, en cuanto a nitrógeno sólo se aplica el 15% con sus insumos orgánicos (ver composta humana, Cuadro 10). Las recomendaciones de fertilización que se estimaron para cada sistema de producción no sustituyen de ninguna forma la aplicación de insumos locales, pero se precisa de complementarlos para un mejor rendimiento de cultivos.

Como puede apreciarse en el Cuadro 9, se hicieron recomendaciones de fertilizantes comerciales, pero los agricultores pueden optar por otros de fácil acceso en la zona. En el caso del fósforo, de acuerdo con la filosofía de reciclaje y en lo posible de insumos orgánico (o por lo menos permitidos en agricultura orgánica) se optó por adicionar la mitad como roca fosfórica (y hueso molido dado el sistema) y el resto como superfosfato simple, esto con la finalidad de que los cultivos tengan fósforo inmediatamente disponible en las primeras etapas de desarrollo.

De la misma forma, en el Cuadro 9 se presentan las recomendaciones tanto de dosis como la forma de aplicación para corregir deficiencias de micronutrientes. Como ya se discutió en párrafos anteriores, los suelos son muy ricos en Fe, por lo que no precisan de la aplicación de este nutriente, sin embargo, para el resto, se requiere emplear fuentes externas de micronutrientes para producir alimentos en cantidad y calidad para el sustento humano y animal.

Cuadro 9. Necesidades de micronutrientes, dosis de fertilización y forma de aplicación para los sistemas agroforestales de Las Cañadas

Identificación	Necesidades de micronutrientes					Recomendaciones de fertilización				Forma de aplicación
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	MnSO ₄ 4H ₂ O (25% Mn)	ZnSO ₄ 7H ₂ O (35% Zn)	CuSO ₄ 5H ₂ O (25% Cu)	Ácido bórico (11% B)	
	-----kg/ha-----					-----kg/ha-----				
Bosque comestible	0.00	4.4	3.6	2.58	1.48	21.8	10.2	10.3	6.7	Revueltos con la MO y cernir
Maíz-ixcuabil	0.0	4.8	4.9	2.1	0.8	24.1	14.0	8.2	3.5	Foliar: 1a. Aplicación a la aparición de la 6a. Hoja con intervalo de 15 días entre la 2a y la 3a aplicación.
Maíz-Tejocote	0.0	4.5	3.7	1.4	1.4	22.6	10.6	5.5	6.4	Foliar: 1a. Aplicación a la aparición de la 6a. Hoja con intervalo de 15 días entre la 2a y la 3a aplicación
Maíz-Araucaria	0.0	4.5	4.3	1.4	1.5	22.7	12.3	5.5	6.7	Foliar: 1a. Aplicación a la aparición de la 6a. Hoja con intervalo de 15 días entre la 2a y la 3a aplicación
Bosque tubérculos	0.0	4.7	4.6	2.7	1.2	23.3	13.1	10.8	5.6	Foliar o granulados mezclados con la composta
H. Biointensivo	0.0	4.2	0.0	1.1	1.5	20.8	0.00	4.6	6.9	Granulados mezclados con la composta
Potrero-ordeña 1 (Buen forraje)	0.0	2.9	4.1	1.6	1.1	14.6	11.7	6.6	5.2	Granulados mezclados con la composta
Potrero-ordeña2 (Poco forraje)	0.0	0.0	3.9	1.7	1.5	0.00	11.2	6.9	6.7	Granulados mezclados con la composta
Cama King grass	0.6	4.7	5.0	3.1	1.2	23.6	14.3	12.3	5.6	Foliar o con composta de cocina, rica en Fe
Cama gigantón	0.6	4.5	0.0	2.2	1.5	22.3	0.0	8.8	6.9	Foliar o con composta de cocina, rica en Fe

5.1.3. Características químicas de los insumos agrícolas utilizados en Las Cañadas

En el Cuadro 10 se muestran las concentraciones de los elementos considerados como esenciales para el desarrollo de las plantas en los insumos agrícolas que se emplean en La Cañada para fertilizar a los cultivos.

Cuadro 10. Análisis de los insumos agrícolas implementados en los sistemas agroforestales de Las Cañadas

Muestra de origen	N TOTAL	P	K	Mg	Ca	Na	S	Cu	Mn	Zn	Fe	B	pH
	-----%							-----ppm-----					
Composta cocina	1.4	0.28	0.8	0.16	1.02	0.04	0.061	35.5	1453.1	210.6	41088	221.3	7.0
Composta ordeña	2.2	0.57	1.4	0.46	2.04	0.08	0.142	46.0	980.3	481.8	21738	64.2	8.2
Composta humana	1.9	0.39	1.9	0.28	2.54	0.22	0.072	26.8	395.9	306.1	14463	55.1	8.0
Composta-cultivos perennes	1.9	0.26	0.7	0.17	1.10	0.03	0.100	33.5	1484.4	100.1	41575	224.3	6.2
Ceniza leña	ND	1.88	6.9	3.17	20.10	0.12	0.064	142.1	1434.6	386.1	4795	553.6	11.4
Hueso quemado	ND	3.47	0.6	0.61	31.10	2.07	0.053	8.3	184.8	219.0	2078	31.0	10.2
Follaje Gigantón	3.4	0.21	3.7	0.19	0.80	0.00	0.058	10.4	32.8	35.8	130	40.0	ND
King Grass	2.6	0.26	4.2	0.17	0.60	0.02	0.094	10.0	69.5	35.8	226	0.0	ND
Orina humana	1.6	0.01	0.6	0.00	0.05	0.17	0.028	0.9	0.1	0.2	50.0	3.8	9.3

Como puede apreciarse, las concentraciones en general, son muy bajas y se requerirán enormes cantidades de composta para cubrir las necesidades estimadas de N, P, Ca, Mg y en general de micronutrientes. Algunos nutrimentos (Ca, P), no podrían cubrirse puesto que estos de por sí se encuentran deficitarios en el sistema debido a la génesis del suelo y condiciones de clima.

5.2. Rendimiento de los cultivos fertilizados con las recomendaciones generadas

La producción obtenida bajo la recomendación de fertilización se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Producción de maíz (Jazmín) y frijol (mantequilla de guía) antes y después de la recomendación de fertilización.

Sistema	Encalado	Abonado a la tierra	Abonado foliar	Superficie	Cosecha Maiz kg ^{-Ha.}	Cosecha frijol Kg ^{-Ha.}
Maíz-Araucaria	Yeso (400 kg/ha)	Composta humana 3,166 kg ^{-Ha.} :super fosfato simple 357.2 kg ^{-Ha.} : Biomil 300gr ^{-Ha.}	2 kg ^{-Ha.} Nutre flor (2 aplicaciones con 15 días de diferencia)	2.6	Sin recomendación 1804	Sin recomendación 418.9
					Con recomendación 2,598	Con recomendación 688.88
Maíz-Ixcuabil	Yeso (400 kg/ha)	Composta humana 3,166.73 kg/ha y superfosfato simple 357.15 kg/ha	1 kg ^{-Ha.} Nutre flor	2.5	Sin recomendación 1,667.2	Sin recomendación 810.8
					Con recomendación 316.6	Con recomendación 104.8
Maíz-Tejocote	Abonos verde (Avena sativa) 3000 kg/ha anual	3,166.73 kg/ha composta humana y 357.15 kg/ha superfosfato simple y 5 kg (hueso molido)	Super magro 112l/ha	2233 m ²	3,793	259.7
					5857.59	396.8

En el sistema Maíz-Araucaria, se obtuvo la mejor cosecha, sin embargo, se presentó en un 30% de la parcela el frailecillo (*Macroductylus nigripes* Bates). En la parcela Maíz-Ixcuabil, sólo se aplicó una parte de la recomendación de fertilización por no alcanzar los insumos, así mismo las lluvias no permitieron cosechar con oportunidad, por lo que la semilla germinó en la planta; el escaso grano que se logró coleccionar (maíz 316.6 kg y frijol con 104 kg) no es representativo de las condiciones normales de producción por lo que se consideró pérdida total. En cuanto a Tejocote, no se modificó el abonado que se ha realizado anteriormente por no contar con presupuesto para la compra de insumos.

5.3 Propiedades físicas

En el Cuadro 12 se presenta la información de las propiedades físicas determinadas en cada uno de los sistemas de producción. Todos los suelos presentaron una clasificación textural migajón o franco. Dado que ya se discutió previamente el contenido de materia orgánica en función del manejo del sistema, en este apartado sólo se incluye para relacionarla con algunas propiedades.

Cuadro 12. Resultado de análisis físicos de los distintos suelos de los sistemas agroforestales en Las Cañadas

Sistema	Clasificación textural	M O %	Porosidad %	Porosidad, %		Constantes de humedad			Da (g/cm³)	Agregados estables %	C. H. (cm/h)
				Microf	Macrof	PM P %	CC %	HA %			
Bosque acahual	Franco	8.67	60.50	51.09	9.42	38.8	54.2	15.4	0.94	77.22	25.1
Bosque maduro	Franco	7.42	66.87	45.57	21.30	43.5	57.4	13.9	0.79	70.03	25.7
Bosque comestible	Franco	12.50	63.18	52.22	10.96	46.5	64.8	18.2	0.81	76.51	13.1
Maíz- ixcuabil	Franco	11.42	59.05	50.37	8.69	36.7	53.4	16.7	0.94	69.66	12.7
Maíz-araucaria	Franco	11.92	60.85	55.67	5.18	37.3	61.2	23.9	0.91	73.43	8.4
Maíz-tejocote	Franco	8.67	58.75	50.99	7.75	38.2	56.1	17.9	0.91	77.17	21.0
Sistema. Tubérculos	Franco	8.58	59.76	49.80	9.97	38.3	57.8	19.5	0.86	72.83	8.8
Huerto biointensivo	Franco	9.12	60.88	47.75	13.13	41.6	54.4	12.9	0.88	82.08	145.2
Silvopastoril-1	Franco	8.33	58.83	44.46	14.37	37.2	48.9	11.7	0.91	76.25	78.3
Silvopastoril-2	Franco	10.33	57.80	50.34	7.45	39.6	54.4	14.8	0.93	73.87	19.9
Cama. Gigantón	Franco	4.33	59.53	53.82	5.71	41.0	59.2	18.2	0.91	76.68	13.6
Cama. king grass	Franco	10.75	60.18	57.24	2.94	40.7	64.1	23.4	0.89	62.55	22.5

M O: Materia orgánica; Microf: microporosidad; Macrof: macroporosidad; PMP: Punto de marchitez permanente; CC: Capacidad de campo; HA: Humedad aprovechable; Da: Densidad aparente, C.H.: Conductividad hidráulica.

5.3.1. Porosidad

En cuanto a la porosidad, no se observan cambios importantes entre sistemas, aunque el bosque maduro presenta la mayor porosidad de todos los sistemas (66.87%), por otra parte, hay una relación entre el contenido de materia orgánica derivada del manejo y la porosidad total como se muestra en la Figura 17.

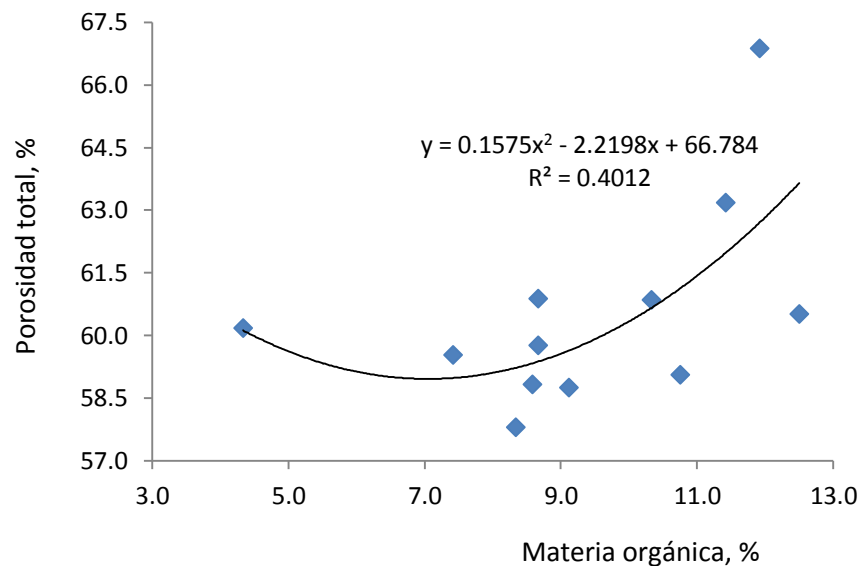


Figura 17. Relación entre el contenido de materia orgánica del suelo y la porosidad total en los distintos sistemas de manejo de Las Cañadas.

En promedio, a partir de aproximadamente 8% de MO, la porosidad se incrementa conforme aumenta el contenido de MO en los sistemas de producción (Figura 18), producto del manejo de dichos sistemas. El espacio poroso total, se compone de macroporos (**Macrof**) y microporos (**Microf**). Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces (Prasad y Power, 1997). Dado que la materia orgánica favorece la formación de agregados y con ello la

microporosidad (Prasad y Power, 1997), la macroporosidad disminuyó conforme se incrementaron los niveles de MO en los sistemas de producción.

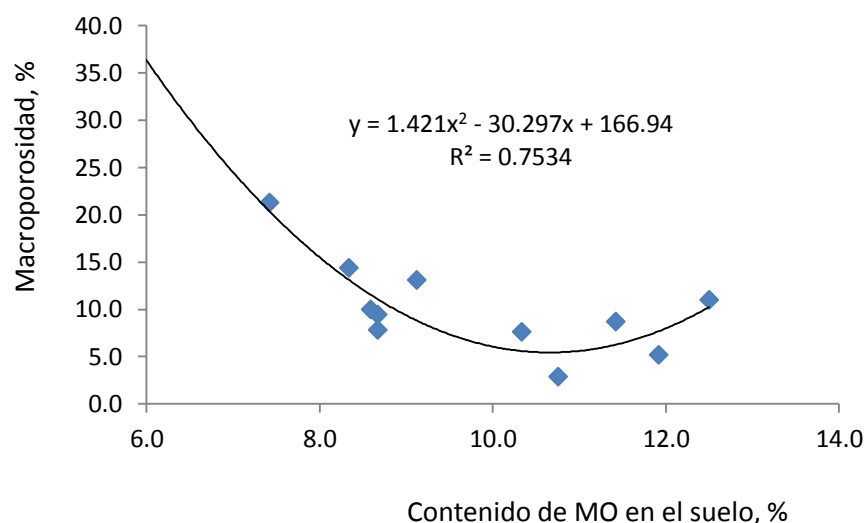


Figura 18. Relación entre el contenido de materia orgánica del suelo de los sistemas ecológicos de producción con la macroporosidad.

Los sistemas que mostraron una mayor macroporosidad fueron Bosque maduro, B-comestible, Huerto biointensivo y sistema silvopastoril-1 con 21.30, 10.96, 13.13 y 14.37 % respectivamente. Llama la atención que la cama de King grass presenta la menor macroporosidad (2.94%). De acuerdo con Dexter (1987), los órganos subterráneos de las plantas también causan compactación del suelo debido a su expansión radial y propuso un modelo para describir este proceso. Sus principales supuestos fueron los siguientes: a) el volumen que ocupa una raíz corresponde a una disminución de igual magnitud en el volumen del espacio poroso que rodea a la raíz; b) el suelo adyacente a la raíz es comprimido hasta la mínima porosidad posible, la cual es una constante para un suelo determinado; c) entre esta zona de mínima porosidad y el cuerpo del suelo, la porosidad aumenta exponencialmente; d) el exponente de esta relación se compone de una constante del suelo, que el autor estimó en 0,5 para el suelo artificial utilizado, multiplicada por la distancia relativa desde la

superficie de la raíz; e) la distancia desde la raíz a la cual la densidad del suelo es afectada es proporcional al diámetro de la raíz. Varios estudios realizados sobre los efectos del crecimiento de las raíces sobre la microestructura del suelo demuestran la ocurrencia de la compresión del suelo alrededor de las mismas, y que el volumen ocupado se compensa.

Dexter *et al.* (1983) investigaron la influencia de la presencia de un cultivo de trigo sobre la estructura de un suelo manejado con dos sistemas de laboreo. Encontraron que el trigo redujo el volumen de poros mayores a 0,5 mm en 24 % con respecto a las áreas no cultivadas. Con Base en estos resultados puede decirse que la alta densidad de plantas en crecimiento continuo que se utiliza como fuente de carbono, ha contribuido al descenso de este parámetro físico.

Los microporos (*Microf*) son los responsables de la retención de agua, parte de la cual es disponible para las plantas. Para este parámetro no se encontró una relación definida con el contenido de materia orgánica, por depender también de la textura y estructura del suelo; en este caso, la textura del suelo de los agrosistemas (migajón o franco) permite que domine la microporosidad.

5.3.2. Constantes de humedad

Con excepción del H. biointensivo y del silvopastoril-1, todos los sistemas han contribuido a aumentar la capacidad de retención de agua del suelo en términos de CC y HA. Este efecto es atribuido en gran parte a los considerables aportes de materia orgánica en forma de composta que también ha favorecido la microporosidad del suelo, responsable del agua capilar (Figura 19).

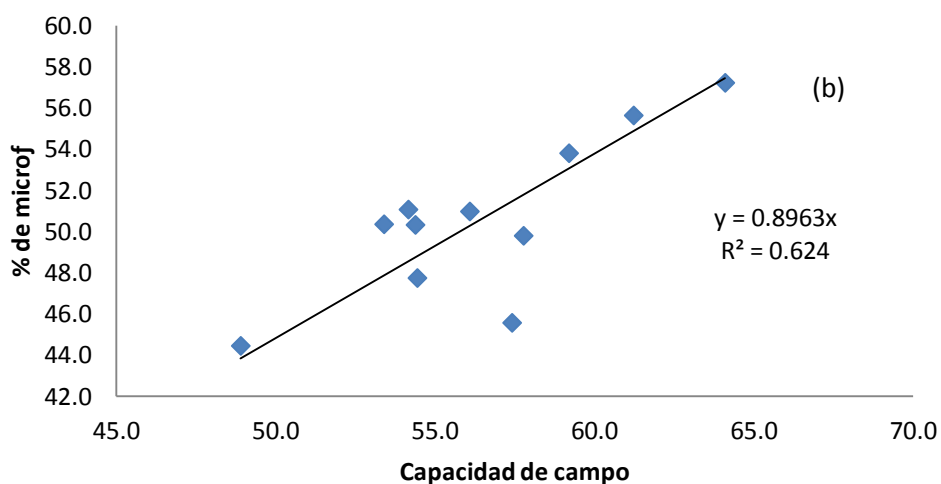
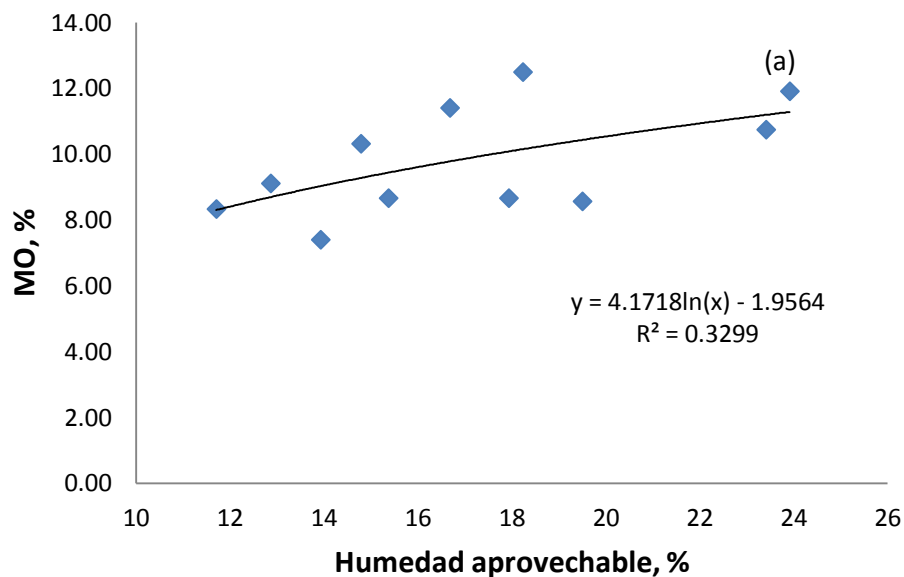


Figura 19. Relación entre (a) la humedad aprovechable del suelo y el contenido de MO y (b) la capacidad de campo y la microporosidad, en los suelos de los sistemas ecológicos de Las Cañadas.

El valor promedio de CC fue de 57.15%, valor alto para la textura del suelo (Anaya ,1994), sin embargo los sistemas con mayor porcentaje de CC fueron el

B. comestible, Maíz-araucaria y C. King grass con 64.7, 61.23 y 64.11 respectivamente, así mismo, los sistemas con menor CC correspondió al sistema Silvopastoril-1 con 48.9%. La HA sobresale en sistemas como B-comestible (18.23 %), Maíz-araucaria (23.91%) y C. King grass (23.41%), estos debido a la incorporación abonos verdes, composta y residuos de cosecha, lo que les proporciona un alto contenido de materia orgánica (Salcedo-Pérez *et al.* 2007).

5.3.3. Humedad Gravimétrica

A continuación se analizan el agua disponible a las diferentes fuerzas de retención para cada uno de los sistemas en función de laboreo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Agrupación de los sistemas agroforestales estudiados con base al manejo del suelo.

Clasificación	Sistemas	Manejo
Sin laboreo en el suelo	Bosque comestible, Bosque maduro, Bosque acahual, Sistema de tubérculos y Sistemas Silvopastoriles 1 y 2	No se realiza laboreo en el suelo, se siembran cultivos anuales y se realiza chaponeo de arvenses.
Sistemas con medio laboreo en el suelo	Maíz-tejocote, Huerto biointensivo, Cama gigantón y Cama King grass	Para la siembra de maíz solo se realiza un paso con yunta y en las camas y huerto biointensivo se realiza un doble excavado a la siembra del cultivo.
Sistemas con laboreo en el suelo	Maíz-ixcuabil y Maíz-araucaria	Barbecho con tractor, surcado con yunta y siembran y abonado manual.

Dentro del análisis de la humedad gravimétrica por grupo de sistemas según el laboreo en el suelo se observó lo siguiente:

5.3.3.1 Sistemas agroforestales sin laboreo en el suelo

En todos los sistemas presentes en este grupo no tienen ningún laboreo en los suelos, se analiza para un 49 % de agua disponible, las diferentes fuerzas a la que se encuentra retenida en cada uno de los sistemas. Los sistemas que menor fuerza de retención presentan son los sistemas Silvopastoriles 1 y 2, bosque acahual y sistemas agroforestal con tubérculos con una fuerza de entre 2 y 4 atm, de forma contraria los sistemas con mayor fuerza de retención (mayor a 10 atm), son Bosque maduro y Bosque comestible.

De la misma manera, los sistemas con una fuerza de 0 a 4 atm, que son a las cuales la planta no sufre estrés para utilizarla y que tiene un mayor contenido de agua son el sistema Silvopastoril-1 y 2, seguido por el bosque acahual, (sistema testigo de suelos inalterados), de forma opuesta el sistema con mayor cantidad de agua a esta misma fuerza de retención es el sistema Bosque comestible (Figura 20).

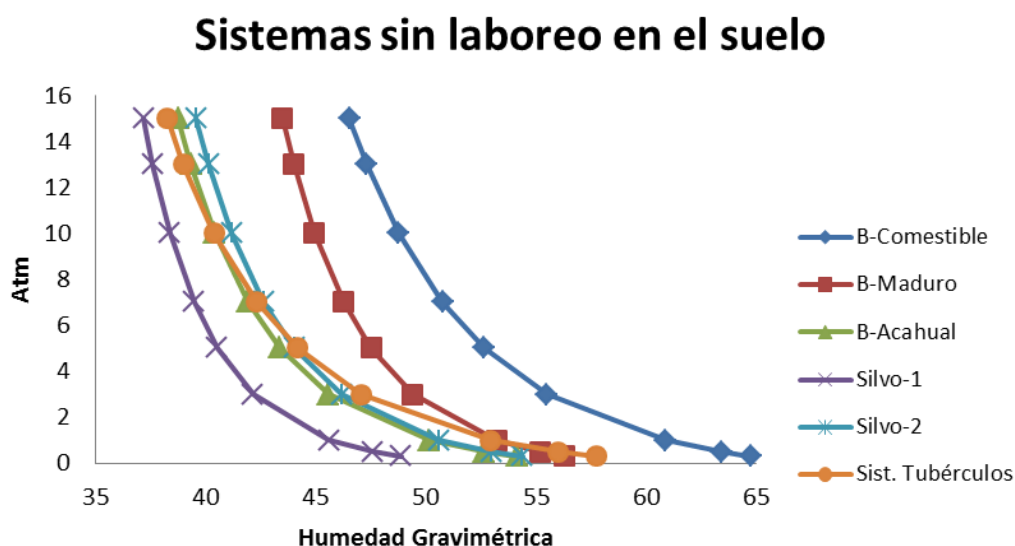


Figura 20. Curvas de retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales sin laboreo.

5.3.3.2. Sistemas con medio laboreo en el suelo

En el análisis de la relación entre sistemas con medio laboreo, se encuentra un comportamiento similar en cuanto a la cantidad de agua disponible, sin embargo, a un 47%, los sistemas Maíz-Tejocote y Huerto biointensivo, muestran menor fuerza de retención, contrario en los sistemas Cama gigantón y cama King grass, en donde se tiene una mayor fuerza de retención (figura 21).

En cuanto a una fuerza de retención de 4 atm, se encuentra que el sistema con menor contenido de agua es el sistema Maíz-Tejocote y el sistema con mayor Contenido de humedad a esta misma fuerza es el sistema Cama King grass.

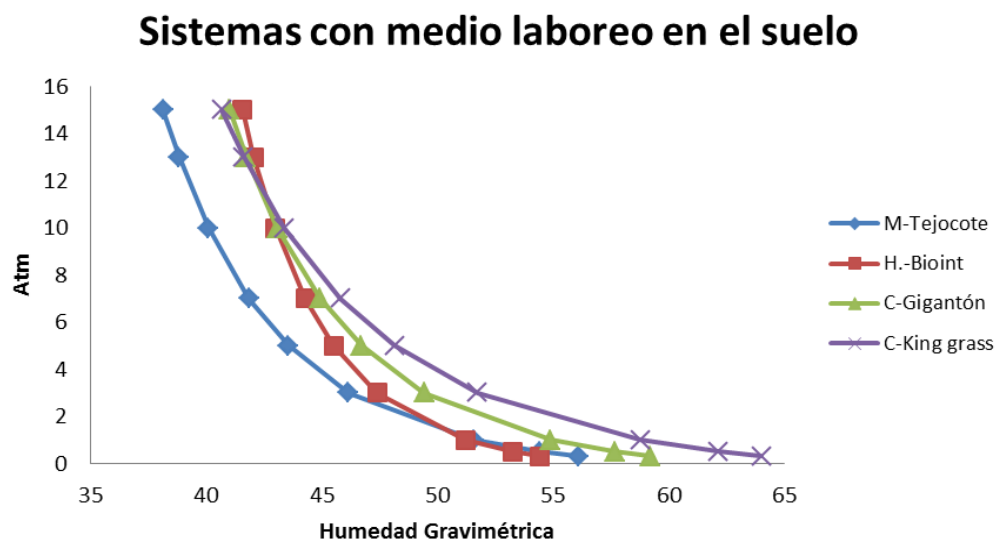


Figura 21. Curvas de retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales con medio laboreo.

5.3.3.4. Sistemas con laboreo en el suelo

En los sistemas con mayor laboreo en el suelo, son en los cuales se utiliza maquinaria como el tractor y paso de yunta, en este grupo se produce maíz y frijol, y se puede observar un comportamiento similar, no obstante, a un 48% de contenido de agua, el sistema Maíz-Ixcuabil presenta menor fuerza de retención, y a un fuerza de 4 atm, el sistema con mayor contenido de agua es el Maíz-Araucaria (Figura 22).

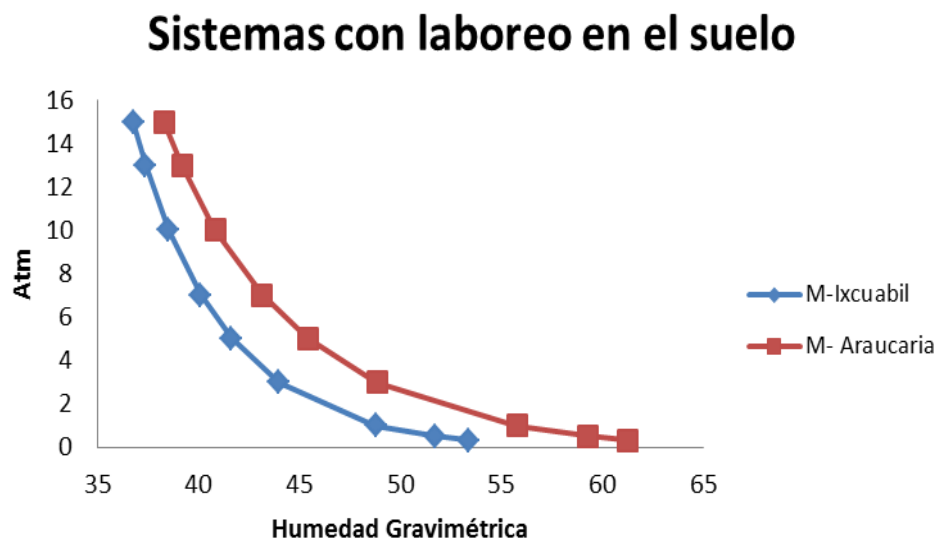


Figura 22. Curvas de retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales con laboreo.

5.3.3. Densidad aparente

La densidad aparente es baja ($< 1 \text{ g cm}^{-3}$) debido a la naturaleza volcánica de los suelos, ésta fluctuó de 0.79 a 0.94 g cm^{-3} , correspondiendo el valor más

bajo al bosque maduro, por lo que puede decirse que los diferentes tipos de manejo del suelo aún con grandes aportes de materia orgánica (con excepción de la cama de King gras), han contribuido, en cierto grado a la compactación del suelo; aún en el bosque acahual, que representa a una vegetación en recuperación de aproximadamente 15 años, no se ha logrado alcanzar el nivel del sistema natural. Es importante observar que los sistemas de silvopastoreo 1 y 2 presentan densidades similares a los del cultivo de maíz (0.91 gcm^{-3}), en los cuales el laboreo del suelo es muy reducido. De acuerdo con Touchton *et al.* (1989) a partir de datos de área basal y peso corporal, es posible estimar que los animales en pastoreo aplican presiones sobre el suelo en el rango entre 150 (novillo de 300 kg) y 350 kPa (oveja adulta), valores notoriamente mayores que los correspondientes a tractores agrícolas, que ejercen presiones del orden de 80 (cubiertas de alta flotación) a 160 kPa (cubiertas radiales simples) (Wood *et al.* 1991). En consecuencia, el grado y la extensión de la densificación del suelo es de esperar que sea mayor cuando es causada por animales que cuando lo es por tracción animal o tractores.

Un estudio realizado por Sánchez *et al.* (1989) en el que evaluaron diferentes niveles de pisoteo (0; 3.3; 6.6 y 8.3 animales/ha/año) sobre las características del suelo. En este experimento ellos utilizaron rotaciones de 3 potreros, para un tiempo total de 42 días (14 días/potrero), con animales de 2 años de edad, pardo suizo X cebú, cuyo peso inicial era de 180 kg. Los resultados mostraron que la densidad aparente, como indicador de la compactación mostró valores más bajos a medida en que se disminuía el número de animales. El pisoteo redujo la porosidad total, teniendo mayores efectos sobre la macroporosidad. Estos resultados podrían explicar la baja macroporosidad en el Silvopastoril-2.

5.3.4. Agregados estables

El porcentaje de agregados estables resultó mayor en el sistema H. biointensivo, esto es 12.05 % con respecto al valor en Bosque maduro y el de

menor en la C. King grass, que fue 7.48 % menor también con respecto al bosque maduro. En ambos sistemas se practica la filosofía del método biointensivo de doble excavado y la adición de materia orgánica, solo que en el sistema H. biointensivo se realiza de 2 a 3 veces por año la adición de composta y el movimiento del suelo y en la C. King grass solo se practica 1 vez al año la adición de materia orgánica y el suelo no es perturbado, es importante destacar que estos sistemas no son los mayores en cuanto al contenido de materia orgánica, sin embargo, es en donde se aplica en forma de composta elaborada con residuos vegetales, situación que puede originar un diferente comportamiento en el suelo ya que la dinámica de la descomposición de MO participa en la formación y estabilidad de los distintos tamaños de agregados, el mantenimiento del nivel de agregación depende del modo y la frecuencia con que la MO es incorporada al suelo y la dimensión de los agregados del suelo sería una función del tamaño, la geometría y el modo de deposición de la misma (Golchin *et al.* 1998).

Sin lugar a dudas el efecto de la incorporación de la materia orgánica en la estabilidad de agregados es un factor determinante en este parámetro y están estrechamente relacionados como se observa en la Figura 23.

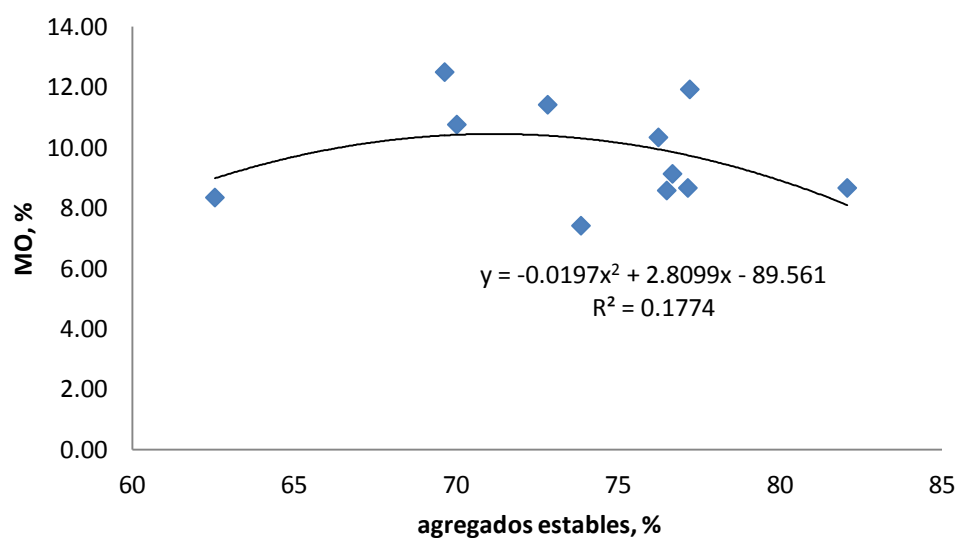


Figura 23. Relación entre el contenido de materia orgánica y los agregados estables en los sistemas ecológicos de producción en Las Cañadas.

5.3.5. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica resultó con valores muy aleatorios, el sistema con menor conductividad hidráulica fue el sistema Maíz-araucaria y B. tubérculos con 8.36 y 8.8 cm/h, en el primer sistema la lenta conductividad se le atribuye al paso de tractor que realizan en el barbecho para la siembra de maíz, sin embargo muy opuesto es el sistema B. tubérculos, el cual no recibe ningún tipo de movimiento, la siembra es directa con estaca y el comportamiento de la conductividad hidráulica es similar. Contrariamente, el H. biointensivo es el sistema con mayor conductividad hidráulica, comportamiento originado por el movimiento de suelo que se realiza en el sistema, el cual consiste en el doble excavado, en donde se saca el suelo de los primeros 30 cm y se remueve el suelo de los 30 a 60 cm de profundidad, posteriormente se regresa la primera capa de suelo y se adicionan 78 kg de composta, esta actividad se realiza de 2 a 3 veces al año con una pala recta, esta actividad aunque demanda una fuerte adición de materia orgánica, al realizar el doble excavado acelera su descomposición, lo que permite un estado del suelo específico, ya que como en suelo forestales hay una gran adición de materia orgánica pero como en suelos agrícolas hay un gran movimiento del mismo.

Otro factor que puede estar influyendo en los sistemas con menor conductividad hidráulica es la compactación del suelo inducida por las raíces de las plantas que ya se mencionó en párrafos anteriores, en trabajos realizados por Dexter *et al.* (1983) y Dexter (1987) indican que las raíces de los cultivos como el trigo pueden reducir el volumen de poros mayores a 0,5 mm y con ello la capacidad para conducir el agua.

6. Conclusiones

La evaluación del estado de la fertilidad del suelo de los sistemas agroforestales del Centro Agroecológico Las Cañadas, mostró que la mayoría de los sistemas ecológicos presentan deficiencias de calcio, fósforo, cobre y boro, además de desbalances entre calcio, magnesio y potasio.

La propuesta de encalado para los sistemas que así lo requirieron, dada la capacidad amortiguadora del suelo y el mantenimiento de la materia orgánica, tuvo como base la fertilización con calcio y su balance con magnesio y potasio, más que lograr algún cambio en el pH del suelo.

Dadas las condiciones de suelo y clima inherentes a la zona, la recirculación de nutrientes en los sistemas de producción basada en la adición de insumos locales es insuficiente para cubrir las deficiencias o corregir los desbalances nutrimentales señalados, por tanto, se precisa de la adición de insumos externos para llevarlos a niveles óptimos del suelo, del cultivo y en consecuencia de la alimentación humana. La aplicación de una de las recomendaciones generadas para un sistema, mostró que pueden lograrse incrementos de rendimiento de 44% y de 64.4% en la producción de maíz y frijol, respectivamente.

El manejo de los sistemas de producción basado en la recirculación de nutrientes y con labores de labranza mínima del suelo, a lo largo de 15 años , ha permitido restaurar las condiciones físicas y químicas del suelo a los niveles del bosque natural o de restauración, excepto en el sistema cama gigantón, donde no se practican estos fundamentos.

7.-Literatura citada

Aguilar SA, Etchevers BJD, Castellanos RJ. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación Especial No. 1.

Álvarez-Sánchez M. E. Marín-Campos A. 2012. Manual de procedimientos analíticos de suelo y planta. Laboratorio de suelos, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México.

Anaya M. 1994. Captación *In situ* del Agua de Lluvia para la Agricultura de Temporal. México.

Bandick, A. K. and Dick, R. P. 1999. Field Management Effect on Soil Enzyme Activites. *Soil Biology and Biochemistry*. 31 (11): 1471-1479.

Balesdent J. and Balabane M. 1996. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 28: 1261 – 1263.

Bautista C. A., Etcheveres B., Del castillo R. F., Y Gutiérrez C. 2004. La Calidad del Suelo y sus Indicadores. *Revista Ecosistemas* 13 (2): 90-97.

Bernier V. R y Alfaro V. M. 2006. Acidez de los suelos y efecto del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA No. 151. Osorno, Chile

- Bravo C. y Florentino A., 1999. Nivel de Cobertura, Conservación de Suelos y Aguas Bajo Diferentes Sistemas de Labranza. Revista Facultad de Agronomía 25:57-74.
- Bravo C. y Florentino A. 1997. Efecto de Diferentes Sistemas de Labranza Sobre las Propiedades Físicas del Suelo y su Influencia Sobre el Rendimiento del Algodón. BIOAGRO. 9(3): pp 67-75.
- Buol, S. W. 1995. Sustainability of soil use. Annual Review of Ecology and Systematic 26:25-44.
- Buckman H. O. y Brady N. C. 1977. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Universidad de Cornell. Departamento de agronomía de la Universidad de cornell. Montaner y Simón. España.
- Cepeda, D. J. M. 1991. Química de suelos. Ed. Trillas. 2a Edición. México. pp 43-63.
- Cisneros, V. 2000. Ambientes y Agricultura en la Zona Central del Estado de Veracruz. Tesis Maestría en Ciencias. FES-Cuautitlán, UNAM. México. 214 p.
- De Brito G. J. 2004. Caracteres de la materia orgánica de algunos suelos del Estado Yaracuy. Venezuela. Agronomía tropical. 26 (4): 337-351.
- Dexter, A.R., Radke, J.K. y Hewitt. 1983. Structure of a Tilled Soil as Influenced by Tillage, Wheat Cropping and Rainfall. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:570-575.
- Dexter, A.R. 1987. Compression of Soil Around Roots. Pl. Soil 97:401-406.

- Doran J., Elliot E. T., Paustian K. 1998. Soil Microbial Activity, Nitrogen Cycling, and Long-term Changes in Organic Carbon Pools as Related to Fallow Tillage Management. *Soil Tillage Res.* 49: 3-18.
- Ecker, D J. 1987. Soil testing interpretations: Basic Cation saturation Ratios and sufficiency Levels. IN: Soil testing. Sampling, correlation, Calibration and interpretation. (EDT) Brown J. R. Soil Science Society of America. Inc. Madison Wisconsin, USA. Special Publication Number 21. p 53.
- Fageria N. K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. New York: CRC Press.
- FAO, 1992. Manual de Sistemas de Labranza para América Latina. Boletín de Suelos de la FAO. Roma. Italia. 193 pp.
- Fassbender, H. W y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos de América Latina. Ed. IICA San José, Costa Rica.
- Francis G. S., J. Tabley F. and M. White K. 1999. Restorative crops for the amelioration of degraded soil conditions in New Zealand. *Australian Journals of Soil Research.* 37: 1017 – 1034.
- Franzluebber, A. J. 2002. Soil Organic Matter Stratification Ratio as an Indicator of Soil Quality. *Soil & Tillage Research* 66: 95-106.
- Gandoy B. W. 1982. Apuntes de la Sección de Física de Suelos. Curso Práctico. Sección de Física. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México. México

- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen: para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. México, D. F. Tercera Edición. 252p.
- Gliessman, S. R. 1998. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI.
- Gliessman R. S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en Agricultura Sostenible. Turrialba. CATIE. Costa Rica.
- Golchin A, Baldock J, Oades J. 1998. A Model Linking Organic Matter Decomposition, Chemistry and Aggregate Dynamics. *IN: Soil Processes and the Carbon Cycle*. Ed. by Lai R, Kimble J, Follett R, Stewart B. II. Series Advances in soil science. Boca Raton, FL. 33431. 245-266.
- Hernández, G., M. 2006. Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable 2006. Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. Huatusco, Veracruz. 30p.
- INEGI, 2009. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Huatusco, Veracruz de Ignacio de la Llave. Clave Geoestadística 30071.pp 9.
- Jama B., A. Palm C., J. Buresh R., Niang A., C. Gachengo C, Nziguheba G. and B. Amadalo. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. Agroforestry Systems 49: 201–221.

- Jensen H. S., P. Kristensen, E. Jeppesen, A. Skytthe. 1992. Iron: Phosphorus Ratio in Surface Sediment as an Indicator of Phosphate Release from Aerobic Sediments in Shallow Lakes. *Hydrobiology*. 75: 731-743
- John J., Torres B. M. y Martínez V J M. 2006. Método de Mini-Cultivo Biointensivo Sustentable. Manual de Capacitación. Costa Rica. PP 32.
- Julca-Otiniano. A., Meneses-Floirán J., Blas-Sevillano. R. y Bello-Amez S 2006. La Materia orgánica, Importancia y Experiencia de su Uso en la agricultura. IDESIA. Chile. Volumen 24, N° 1. Enero-Abril.
- Labrador, M. J. 1996. La Materia Orgánica en los Agroecosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 67-78. 1a Edición.
- USDA, 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura. Servicio de Investigación Agrícola. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Instituto de Calidad de Suelos. Estado Unidos de Norteamérica.
- Lal R. 1997. Long-Term Tillage and Maize Monoculture Effects on Tropical Alfisol in Western Nigeria. I: Crops Yield and Soil Physical Properties. *Soil Tillage Res.* 42: 145-160.
- Luis. H. J. 2007. Métodos Para el Análisis Físico de suelos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de Las Lajas. La Habana. Cuba.

Mannering J. V. y Fenster C.R. 1983. What is Conservation Tillage?. J. Soil Water Conserv 38: 141-143.

Nair P., K., R. 1997. Agroforestería. 1ª edición. En español. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. 543 p.

Nair P., K., R., Buresh R., J., Mugendi D., N., Latt C., R. 1999. Nutrient Cycling in Tropical Agroforestry Systems: Myths and Science. In: Back L. E. Lassoie J., P. Fernandez y E. C. M. (eds.). Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems. Boca Ratón, CRC Press pp 1-31.

Navarrete S. A., Vela C. G., López B. J y Rodríguez G. M. L., 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de la calidad del suelo. ContactoS 80, 29-37 (2011). México.

Navarro B. A., Figueroa S. B., Ordaz Ch. V. M. y Gonzáles C. F. V. 2000. Efecto de la Labranza Sobre la Estructura del Suelo, La germinación y el Desarrollo del maíz y Frijol. TERRA Latinoamericana, enero-Marzo, año/Vol. 18 número 001. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 61-69.

Núñez. S. J. 2006. Manual de Laboratorio de Edafología. Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica. En línea en: http://books.google.com.mx/books?id=s10PtCozrpwC&printsec=frontcover&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Pereyra D., D. y Pérez S., A. 2005. Hidrología de Superficie y Precipitaciones Intensas 2005 en el Estado de Veracruz. [ENLINEA]. Departamento de

Hidrometeorología de la Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas. Universidad Veracruzana. Xalapa Veracruz.

Disponible en:

http://www.uv.mx/eventos/inundaciones2005/PDF/06_HIDROLOG%C3%8DA.pdf

Pía F. 2005. Huerta Orgánica Biointensiva. Centro de Investigación y Enseñanza en Agricultura Sostenible (CIESA). International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). Argentina.

Prasad R. and J. M. F. Power. 1997. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd. N.W., Boca Raton, Florida. P 347.

Reixach V. R. 2012. Influencia del Manejo en las Propiedades Físicas, Químicas y Micromorfológicas del Suelo. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Rey C. J. A. y Bustamante B. I. D. 1982. Inventario de Áreas Erosionadas, Rangos de Pendiente y Unidades de Suelo del Estado de Veracruz. Dirección General de Conservación de Suelo y Agua, SARH. Universidad Autónoma Chapingo. México. 139p.

Rodríguez, S. F. 1999. Fertilizantes nutrición vegetal. AGT Editor, S. A. México. pp. 33-157

- Romero R. 2013. Manual de Bosque Comestible. Centro Agroecológico Las Cañadas. Huatusco, Veracruz.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Mapa: Distribución Geográfica de Climas en México de Acuerdo con la Clasificación Climática de Köeppen. Limusa. Noriega Editores. D.F. México. pp: 35.
- Sá J. C. 1999. Manejo da Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto. En Siqueira J. O., Moreira F. M .S. Lopes A.S., Guilherme L. R. G., Faquin V., Furtini A. E., Carvalho J. G. (Eds.) *Inter-relação Fertilidade, Biologia do Solo e Nutrição de Plantaa*. SBCS Universidade Federal de Lavras. Lavras Brasil. pp 267-320.
- Sánchez P., Castilla C. and Alegre J. 1989. Grazing Pressure Effects on the Pasture Degradation Process. Document No. 42511 CIAT. 182-187 p.
- Salcedo-Pérez. E, Galvis-Spinola A., Zamora-Natera F., Hernández-Mendoza T. M., Bugarin-Montoya R., Rodríguez-Macías R. y Carrillo-González R. 2007. La Humedad Aprovechable y su Relación con la Materia Orgánica y Superficie Específica del Suelo. *Terra Latinoamericana*, vol. 25, núm. 4, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México. pp. 419-425
- SARH. 1981. Información Estadística Agropecuaria y Forestal. Ed. Subdirección de Planeación, Dirección General de Estudios, Información y Estadística Sectorial. México.

Stopes C., E. I. Lord, L. Philipps, L. Woodward. 2008. Nitrate Leaching From Organic Farms and Conventional Farms Following Best Practice. Soil Use and Management (2002) 18, 256-263

Thompson L. M. y R. Troeh F., 2002. Los Suelos y su Fertilidad. Cuarta edición. Editorial Reverté, S. A. España. 639 pp.

Toledo T. 2009. El Bosque de Niebla. México. CONABIO. Boletín Bimestral de la comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Biodiversitas (83) Marzo-Abril.

Torres C. L. 2000. Elaboración de Composta Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Texcoco. México.

Touchton J.T., Reeves D.W. y Delaney D.P. 1989. Tillage Systems for Summer Crops Following Winter Grazing. Proc. 1989. Southern Conservation Tillage Conference. Tallahassee, Florida. 72-75 pp.

<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Elaboración%20de%20Composta.pdf>

Wild, A., Urbano, T. P., Rojo, H. C. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España. pp. 165.

Williams-Linera G. 2007. El Bosque de Niebla del Centro del Estado de Veracruz: Ecología, Historia y Destino en Tiempos de Fragmentación y

Cambio Climático. Instituto de ecología A. C (INECOL), Comisión Nacional para la Biodiversidad (CONABIO). Distrito Federal (DF). MÉXICO.

Wood, R.K., Morgan, M.T., Holmes, R.G., Brodbeck, K.N., Carpenter, T.G. and Reeder, R.C., 1991. Soil Physical Properties as Affected by Traffic: Single,

Dual, and Flotation Tires. Trans. ASAE 34:2363-2369.

Young R. A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Ed. Noriega editores México.

Yusmary E., Lozano Z y Velásquez L. 2007. Efecto de la Rotación de Cultivos y Prácticas de Labranza Sobre las Fracciones de la Materia Orgánica del Suelo. INTERCIENCIA. Vol. 32 N°. 8

Zecaida R. Ma. S. 2006. Reservorios de Nitrógeno en un Suelo con Rotación de Cultivos Forrajeros. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México.

9 Anexos

9.1 ANEXO I. SISTEMAS DE PRODUCCION DE MAIZ Y FRIJOL

Cada sistema recibe un manejo enfocado al cuidado del suelo, con actividades diferentes las cuales se detallan en cada ficha técnica por sistema.

9.1.1. Sistema Maíz-Araucaria

Cuadro 14. Manejo y abonado que se realizó en la parcela Maíz-Araucaria, en donde se sembró maíz y frijol

Ficha técnica de maíz y frijol (Araucaria 2.6 ha) Densidad de población 3166 matas/ha				
Actividad	Herramientas	Insumos	Cantidad	Fecha
Picado de cosecha	Machete	Picado de residuos de maíz después de la cosecha de maíz y frijol		Finales Febrero
Incorporación de residuos	Tractor	Incorporación de residuos y arvenses presentes		
Encalado e Incorporación de residuos con barbecho	Yunta	Yeso (2013)	400 kg/ha	14-abril
Siembra	Espeque o cavador	Semilla maíz-jazmín y frijol- mantequilla (guía)	24 kg/ha maíz y 5.6 kg frijol/ha	21-23 abril
Abonado a la tierra	Botes, costales	Composta humana (CH) y super fosfato simple (sfs) y Biomil (Azospirillum y Penicillium)	(1 ha) 3166.7 kg (CH) y 357.2 kg (SFS) y 300gr/ha (biomil)	21-23 abril
Abonado foliar	Mochila aspersora	Nutre flor	1 kg/ha	Junio (2 aplicaciones con 15 días de separación)

Yunta		Julio
Aterrado		
Cosecha de maíz (Producción obtenida sin recomendación)	Costales y botes	Sin recomendación: 1804 kg ^{-Ha} Con recomendación 2,598 kg ^{-Ha} .
Cosecha de frijol		Sin recomendación 418.9 kg ^{-Ha} Con recomendación 688.8 kg ^{-Ha} .

Aproximadamente 2 ha se abonaron con la fertilización completa, en donde se observó un mejor desarrollo de la planta de frijol Figura 24 y 25.

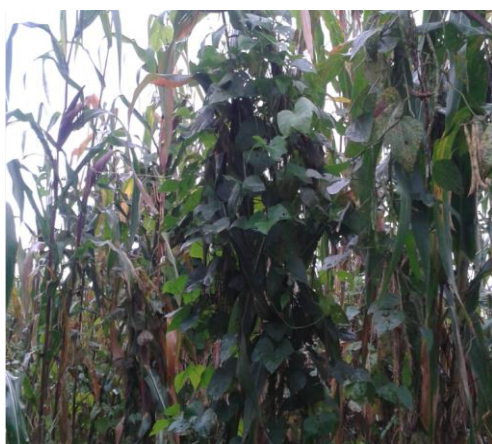


Figura 24 y 25. Plantas de frijol con abonado completo, con mejor desarrollo y producción.

Del área Maíz-Araucaria, en aproximadamente 0.5 ha, sólo se realizó el encalado, se abonó con super fosfato simple y composta de residuos humanos, ya que no alcanzaron los insumos, esta situación se aprecia en plantas de frijol con menos producción, Figura 26 y 27.



Figuras 26 y 27. Plantas de frijol del área con abonado incompleto

9.1.2. Sistema Maíz-Ixcuabil

En esta parcela el manejo en cuanto al suelo es similar al de la parcela anterior, sin embargo, el abonado fue menor, mostrándose una disminución en la producción por mata de frijol (cuadro 15).

Cuadro 15 Manejo y abonado que se realizó en la parcela Maíz-Ixcuabil

Ficha técnica de maíz y frijol (Ixcuabil 2.5 ha)				
Actividad	Herramientas	Insumos	Cantidad	Fecha
Picado de cosecha	Machete	Picado de residuos de maíz y frijol después de la cosecha		Finales Febrero
Desmalezado	Tractor	Incorporación de arvenses y residuos de cosecha		
Encalado e Incorporación de residuos con	Yunta	Yeso (2013)	400 kg ^{-Ha.}	14-abr

barbecho				
Surcado	Yunta	Jornal	1	21 abril
Siembra	Espeque o cavador	Semilla maíz-jazmín y frijol- mantequilla (guía)	24 kg/ha maíz y 5.6 kg frijol/ha	24 abril
Abonado a la tierra	Botes, costales	Composta humana (CH) y super fosfato simple (sfs).	3166.73 kg ^{-Ha} (CH) y 357.15 kg. ^{-Ha} . (SFS)	24 abril
Abonado folair		Nutreflor	1 kg ^{-Ha} .	6 hojas del maíz
Aterrado	Yunta			Julio
Cosecha (Producción obtenida sin recomendación)	Costales y botes		Sin recomendación 1,667 kg ^{-Ha} . Con recomendación 316.6 kg ^{-Ha}	Mediados noviembre
Cosecha (Producción obtenida sin recomendación)			Sin recomendación 810.8 kg ^{-Ha} . Con recomendación 104.8 kg ^{-Ha} .	Mediados de septiembre

El desarrollo de las plantas de frijol se observa menos por un abonado incompleto Figura 28 y 29.



Figuras 28 y 29. Desarrollo del cultivo de frijol en parcelas con encalado, super fosfato simple y una aplicación de foliar Nutre flor.

Al realizar el estimado de cosecha se muestreo un área de 8 metros cuadrados, se obtuvieron los siguientes datos de follaje, vaina y grano (cuadro 17).

Cuadro 16. Peso de planta y grano de frijol en el predio Maíz-Ixucabil. Superficie 8 m²

Parte de la planta	Peso	Medida
Kg de mata frijol sin grano	1.43	Kg
Grano maduro	780	G
Vaina tierna con grano	180	G
Vaina tierna sin grano	200	G
Grano tierno	100	G

En las figuras 28 y 29, se observa la vaina cosechada y el follaje de la planta de frijol, la cual se cosecho desenredando las plantas del tutor y recogiendo las hojas caídas al suelo para tener el peso completo de la planta.



Figuras 28 y 29. Follaje colectado de las matas de frijol y vaina cosechada de la misma en un área de 8 m².

Se obtuvo el peso del grano de frijol de los 8 m² muestreados para poder obtener una proyección de producción de grano (Figura 30).

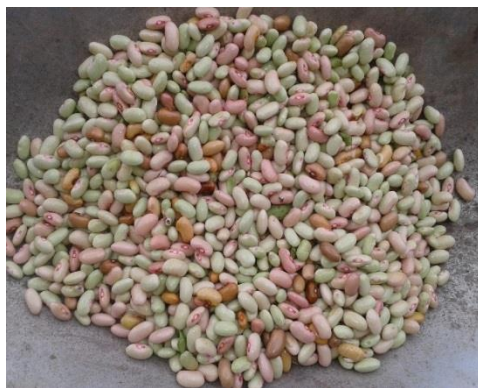


Figura 30. Grano cosechado en el predio Maíz-Ixcuabil para proyección de la cosecha.

9.1.3. Sistema Maíz-Tejocote

El manejo de este predio no incluye tractor, por lo tanto el trabajo de la tierra es solo con yunta, en este predio se aplica un foliar elaborado con materiales locales, el abonado y manejo del cultivo se detalla en el anexo II.

Cuadro 17. Ficha técnica de manejo y abonado en el sistema Maíz-Tejocote

Sitio Tejocote. Superficie 2233 m ²				
Actividad	Herramientas	Insumos	Cantidad	Fecha
Picado de cosecha	Machete	Abonos verde de <i>Avena sativa</i>	3000 kg ^{-Ha}	18-abr
Incorporación de residuos	Yunta	incorpora vegetación		Finales abril-13
Surcado	Yunta	Jornal	1	Finales abril-13
Siembra	Espeque o cavador	Semilla maíz-jazmin y frijol-mantequilla (guía)	24 kg ^{-Ha} maíz y 5.6 kg frijol ^{-Ha} .	5 y 7 mayo
Abonado a la tierra	Botes, costales	Composta humana y super fosfato simple y hueso molido	3166.73 kg ^{-Ha} composta humana y 357.15 kg ^{-Ha} (superfosfato simple) y 5 kg ^{-Ha} (hueso molido)	5 y 7 mayo
Abonado foliar	Mochila aspersora	Super magro	60 l/ha	Junio
Aterrado	yunta			Mediados de junio
Cosecha (Sin recomendación de abonado)	Costales		Sin recomendación 3793 kg ^{-Ha} sin recomendación 5857.59 kg ^{-Ha} .	Maíz noviembre
Cosecha (Sin recomendación de abonado)	Costales		259.7 kg ^{-Ha} Sin recomendación 396.5kg ^{-Ha} .	Frijol septiembre

Es importante mencionar que en este sistema NO se aplicó la recomendación de nutrición dada, por no contar con presupuesto para la compra de insumos necesarios.

El cultivo de frijol de guía se aprecia en las Figuras 31 y 32, del predio tejocote, en este predio no se realizó el encalado, ya que con 4728 ppm de Ca que resultaron en los análisis químicos de suelo, se ubica con un contenido alto de este elemento, solo se realizó un abonado con super magro (anexo 9.3) como abono foliar, aplicado tres veces al cultivo, abono super fosfato simple ya que en el resultado de análisis químicos se ubica como bajo y hueso molido que aporta potasio, todo aplicado al momento de la siembra.



Figura 31 y 32. Plantas de frijol en sistema sin encalado

9.2. Anexo II

Elaboración de composta de cocina, utilizada en el huerto Biointensivo para abonado de hortalizas, la cual al ser analizada obtuvo las siguientes características químicas:

9.1.2. Proceso de elaboración de composta de cocina:

Materiales: Residuos de comida de la cocina, composta terminada, residuos de vegetales cosechados en el huerto como plantas de frijol, maíz, rábanos, zanahorias, etc.

Procedimiento:

Se debe tener un área destinada a la elaboración de composta sin corrientes de agua en donde se colocará y cubrirá la composta, se elabora de la siguiente manera:

1. Se remueve el suelo a 20 cm de profundidad aproximadamente
2. Se coloca una capa de ramas de aproximadamente 20 cm de grosor, que permitan la aireación
3. Se apila una capa de vegetales o residuos de cocina de 20 cm de altura, sobre las ramas (aportación de nitrógeno).
4. Se apila una capa de composta ya terminada (que asegure la inoculación de microorganismos)
5. Se asegura que después de cada capa se tenga una humedad apropiada (se toma un puño de material, se aprieta y no debe escurrir pero se debe de sentir húmeda), se espera aproximadamente 3 meses y estará en etapas de estabilización, en la cual se observará como tierra y se puede utilizar como abono sin complicaciones.

9.3. Anexo III

9.1.3. BIO-FERMENTO para sistemas de frijol y maíz en el centro agroecológico Las Cañadas(Obtenido por expresión de productores)

Este bio-fermento se aplica para suplir nutrimentos como fósforo y magnesio.

Materiales necesarios (sistema de fermentación anaeróbico):

- 1 recipiente plástico de 200 litros de capacidad
- 1 cubeta de plástico de 10 litros de capacidad
- 1 pedazo de manguera de 1 metro de 3/8 ó 1/2 pulgada de diámetro
- 1 niple roscado de bronce, cobre o plástico de 5 centímetros de largo (del diámetro de la manguera)
- 1 botella desechable
- 1 colador
- 1 palo para mover la mezcla

Ingredientes

Agua o suero de leche: 180 litros

Panela o piloncillo: 8 kilos.

Estiércol de vaca muy fresca: 40 Kg

Roca fosfórica: 2 Kg

Hueso molido: 1 Kg

Sulfato de manganeso: 300 g

Cuadro 18. Dosis y aplicaciones para cultivos del biopreparado

Cultivo	Dosis %	No. aplicaciones	Momentos de aplicación
Maíz	3 a 5 (.5 a 1 L de biofermento en 20 L agua)	3	Los primeros 2 meses del cultivo
Frijol	3 a 5	3	Los 2 primeros meses del cultivo

Procedimiento de dilución:

Colar el biofermento al adicionarlo a la bomba y rellenar la bomba con agua.

Modo de preparación:

Día 1 Preparación básica del biofermento

Ingredientes:

40 Kg de estiércol

70 Litros de agua o suero de leche

2 Kg de panela diluida

Procedimiento:

En el tambo de plástico de 200 litros se vierten los 40 Kg de estiércol fresco de vaca, 70 litros de agua o suero de leche, 2 Kg de panela diluida. Removerlo muy bien hasta conseguir una mezcla homogénea, taparlo y dejarlo en reposo por 3 días, protegido del sol y las lluvias, de preferencia dentro de un invernadero, pues entre más calor, la fermentación se da más rápido.

Día 4 Incorporación de fósforo y manganeso

Ingredientes:

1 Kg de Roca fosfórica
100 g de sulfato de manganeso
4 litros de suero de leche
2 Kg de panela diluida

Procedimiento

En una cubeta de plástico, con un poco de agua tibia (no más de 60° C) disolver 1 Kg de roca fosfórica, 100 g de sulfato de manganeso. Agregarle 4 de suero) y 2 kg de panela. Colocarlos en el recipiente del biofermento, removerlo bien, taparlo y dejarlo en reposo por otros 3 días.

Día 7 Incorporación de fósforo y manganeso

Ingredientes:

1 Kg de Roca fosfórica
100 g de sulfato de manganeso
4 litros de suero de leche
2 Kg de panela diluida

Procedimiento

El mismo que el anterior

Día 10 Incorporación de fósforo y manganeso

Ingredientes:

1 Kg de Hueso quemado y finamente molido

100 g de sulfato de manganeso

4 litros de suero de leche

2 Kg de panela diluida

Procedimiento

El mismo que el anterior y completar el volumen hasta los 180 litros (no hasta arriba del tambo para que no se tape la manguera) y esperar por 10 ó 15 días de fermentación para poder usarla

