

UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Título: Importancia de la integración del árbol en la fertilidad de los suelos pecuarios.

Tesis presentada en opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible.

Autor: Ing. Ernesto Noval Artilles.

Tutores: Dra. Marta Hernández Chávez.

Dr. Pedro Cairo Cairo.

2000.

DEDICATORIA



A mi esposa e hijas, a mi madre y hermanas y a todos aquellos que de forma desinteresada hicieron posible este trabajo.

Agradecimientos.

A los compañeros de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes (EEPF) “Indio Hatuey” por incentivar el tema del árbol en la ganadería, especialmente a Marta Hernández Chavez, Leonel Simón Guelmes e Ismael Hernández Venereo.

A los compañeros Pedro Cairo Cairo, Reinaldo Quiñones Ramos y Pedro Emilio Soria Yera.

A los compañeros de la electroquímica de Sagua, por facilitar parte de los reactivos para la realización de determinados análisis.

A todos aquellos que de forma incondicional brindaron su ayuda.

También aquellos compañeros de la Dirección Municipal de Educación que por su falta de visión en la superación técnico profesional de sus profesores, sus tras pies y otros sinónimos, me ayudaron a tomar con más énfasis esta dirección.

Consultores:

1. *Ing. Reinaldo Quiñones Ramos* UCLV.
2. *Lic. Pedro Emilio Soria Yera* UCLV.
3. *Ing. Saray Sánchez* EEPF “Indio Hatuey”
4. *Dr Francisco Díaz Casas* UCLV.
5. *Dra. Martha Reínés* UH.
6. *Dr. Cristobal Rios Albuerne* UCLV.
7. *Ing. Reinaldo Franco Franco* UCLV.

“Con mucha frecuencia el hombre trabaja para lograr una ventaja temporal, aumentando la proporción del flujo de los materiales pero olvida disponer el mecanismo de retorno. El frecuente proceso de la agricultura tropical es un buen ejemplo.”

Eugene P. Odum.

“La ganadería cubana, que tuvo un rápido crecimiento después de la Segunda Guerra Mundial y una notable mejora genética después de 1959, basó su desarrollo en la tala de grandes áreas de bosques para el fomento de praderas de pastoreo en tierras donde la vocación es el bosque.”

Dra. Hilda Machado

..... “de lo que se trata no es de llevar el ganado al bosque, sino de devolverle los árboles a la ganadería.”

INDICE

RESUMEN	8
INTRODUCCION	9
1.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
1.1 EL ÁRBOL EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL PASTO A TRAVÉS DEL SUELO.	13
1.1.2 <i>Contribución de las raíces, la hojarasca y la copa de los árboles en la fertilidad de los suelos.</i>	14
1.2 CONTRIBUCIÓN DEL ÁRBOL EN EL RECICLAJE DE NUTRIENTES Y EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.	16
1.2.1 <i>Reciclaje de nutrientes.</i>	16
1.2.2 <i>Características del suelo.</i>	20
1.3 EFECTO DE LA COPA DE LOS ÁRBOLES Y SU SOMBRA EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL PASTO Y DEL SUELO.	24
1.3.1 <i>Pasto:</i>	24
1.3.2 <i>Suelo:</i>	36
1.4 LOS MACROORGANISMO COMO ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL SUELO.	38
1.4.1 <i>Anélidos Como Mejoradores del Suelo:</i>	42
1.4.2 <i>Arthropodos Como Mejoradores del Suelo.</i>	43
2.0 MATERIALES Y MÉTODOS.	47
2.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.	47
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.	47
2.3 MEDICIONES.	48
2.3.1 <i>Análisis químico del suelo.</i>	48
2.3.2 <i>Análisis físico del suelo.</i>	48
2.3.3 <i>Análisis microbiológico.</i>	49
2.3.4 <i>Análisis bromatológico.</i>	50
2.3.5 <i>Determinación de la caída de la hojarasca:</i>	50
2.3.6 <i>Análisis foliar de la hojarasca.</i>	50
2.3.7 <i>Datos climáticos.</i>	50
2.3.8 <i>Procesamiento estadístico.</i>	50
3.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1 EVALUACIÓN DE LA HOJARASCA QUE LLEGA AL SUELO.	52
3.2 ESTADO DE LA MACROFAUNA BAJO LAS CONDICIONES DEL EXPERIMENTO.	54
3.3 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EL COMPLEJO ABSORBENTE.	61
3.4 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE EL ESTADO ESTRUCTURAL DEL SUELO.	71
3.5 EFECTO ACUMULATIVO DEL SISTEMA SILVOPASTORIL EN EL MEJORAMIENTO DEL SUELO..	75
3.6 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA DE LOS	78
3.7 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA.	83
CONCLUSIONES	85

RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS	87
ANEXOS	105

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la acción de los árboles sobre la fertilidad de los suelos pecuarios, se llevó a cabo un experimento en la vaquería “El Mamey” del IPA “Victoria de Santa Clara”, la que se encuentra a 100 msnm, la que cuenta con suelos de agrupamiento Pardos Sialítico, tipo Pardo, subtipo, Calcico, categoría 5, donde se tomaron tres zonas: A1 zona de árboles de tres años, A2 zona de árboles de ocho años y A3 zona sin árboles, realizándosele muestreos a las profundidades de 0 a 10 y 10 a 20 cm del suelo para determinar características físicas y químicas, además a estas capas se le añadió el muestreo de la macrobiota que se cuantificó en la hojarasca, también se determinó la composición bromatológica de los pastos de cada área; estos muestreos se hicieron en octubre de 1999, marzo y junio del 2000. Los resultados fueron procesados por técnicas de análisis de varianza multifactorial, determinándose las diferencias de las medias por la prueba de Duncan y Dunnett’s C, empleándose los paquetes estadísticos SPSS 8,0, y el StatGraphics PLUS 2,1, todos sobre Windows. Las mayores densidades de las poblaciones de la macrofauna favorecieron las zonas A1 y A2, preferentemente en el mes de octubre para las órdenes ***Hymenoptera*** y ***Lumbricide***, especialmente esta última en la capa de 0 a 10 y 10 a 20 cm. La materia orgánica, el P_2O_5 y el K_2O fueron significativos ($p < 0,05$) para A2 en las diferentes épocas y profundidades, A2 mejoró significativamente todas las propiedades físicas, mientras que A1 no difirió de A3 en la mayoría de los parámetros evaluados. Las curvas de la permeabilidad y la materia orgánica ajustaron a un 93 y 92 % respectivamente. Se concluye que la presencia del árbol mejoró con el tiempo tanto las propiedades físicas como químicas, macrobiológicas del suelo y las características bromatológicas del pasto, recomendándose extender esta tecnología hacia otras unidades pecuarias así como continuar con su estudio.

INTRODUCCION

En Cuba durante 1985 la agricultura no cañera aplicó cerca de 1000000 de toneladas de fertilizantes y el consumo de este insumo fue de 99,4kg há⁻¹ de superficie agrícola, cifra mayor que la empleada por los EEUU y México (Muñiz, 1997). La tendencia mundial en los últimos años ha sido la de reducir el uso de fertilizantes minerales, no solo por sus altos costos, sino también por los daños que provoca en la ecología, el potencial productivo de los suelos agrícolas, la calidad de los alimentos y salud del hombre (Massee, 1990). En nuestro país a partir de 1990, debido a las dificultades económicas, su utilización disminuyó bruscamente y solo se empleó un 20 a 25 % de la cantidad empleada en condiciones normales (Muñiz, 1997).

En la actividad pecuaria esta situación es más alarmante, ya que desde el año 1992 los pastizales prácticamente no reciben fertilización, además si tenemos en cuenta que los tipos de suelo ganaderos que prevalecen en las empresas pecuarias son: Ferralíticos cuarcíticos, Amarillos lixiviados, y los Pardos (40 %); Escabrosos, Vérticos y Fersialíticos (36 %); Hidromorficos y Aluviales (18 %), de estos, el 75, 47 y 35 % presentan contenidos de P, K y pH no idóneos, con uno o varias de las limitantes siguientes; poca profundidad, alta erosión, drenaje deficiente, salinos, pendientes pronunciadas, con alto grado de piedras y rocas. Las características señaladas permiten clasificar los suelos de la forma siguiente: buenos (9 %), regular (24 %), malos (43 %) y muy malos (24 %). Las limitantes mencionadas afectan tanto la producción como la persistencia y la calidad de los pastos, lo que se refleja en los animales que consumen dichos productos y en sus niveles de producción, reproducción y salud (Paretas, 1993). Añadiendo a esto que Cuba al igual que la mayoría de los países en desarrollo, presenta degradación de los suelos y existen 4,2 millones de hectáreas con problemas de erosión (Febles, Riverol y Treto, 1995).

Vista ya las características de los suelos ganaderos se hace necesario realizar la explotación de estos suelos bajo un enfoque holístico, donde el desarrollo de un sistema orgánico debe tener en consideración todas las interacciones existentes entre los agentes bióticos y abióticos del ecosistema, superando la simplificación química mecánica de la agroquímica (García Trujillo 1992).

En la resolución económica del 5^{to} congreso del PCC (Granma, 1997) se plantea que la agricultura no cañera deberá contribuir significativamente al balance externo del país, mediante la sustitución de importaciones e insumos productivos, así como llevar una estricta observación de la legislación y demás regulaciones relacionadas con la protección del medio ambiente, así como la recuperación y reciclaje de materias primas, pues solo así se podrá hacer realidad el principio del desarrollo sustentable.

Por todo lo antes expuesto, es necesario buscar alternativas que promuevan un incremento en los rendimientos y que a su vez no provoquen daños en la fertilidad de los suelos.

En la literatura se plantea que la inclusión de árboles y arbustos (especialmente leguminosos) en los pastizales o en otros cultivos puede ser una buena opción, debido, entre otros aspectos, a su contribución en la disminución de la erosión, el mejoramiento de la fertilidad del suelo a través del aporte de nitrógeno atmosférico y el reciclaje de nutrientes y en el estímulo de la diversidad biológica (Hanson y Cassman, 1994; Sarria, Gómez, Rodríguez, Molina y Murgueitio, 1994; Libreros, 1995).

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Demostrar la importancia de la utilización del árbol y su interacción con el animal como mejoradores de la fertilidad de los suelos pecuarios.
- Determinar el efecto acumulativo de los tratamientos sobre la fertilidad del suelo.
- Evaluar el efecto de la tecnología empleada sobre la macrofauna del suelo.
- Determinar el efecto de la tecnología empleada sobre la calidad bromatológica de los pastos.

1.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Uno de los grandes problemas que aquejan a la humanidad es la destrucción acelerada de los recursos naturales, dentro de los cuales el suelo es quizás el que ha sufrido el mayor daño por intervención humana, aunque es el que suministra los requerimientos diarios de nutrición para la humanidad (Amézquita, 1998). En el ámbito mundial vastas áreas de tierra han sufrido procesos irreversibles de degradación, causados por un amplio rango de procesos, tales como la erosión acelerada, la desertificación, la compactación, el endurecimiento de los suelos, la acidificación, la disminución en el contenido de materia orgánica, la diversidad y la caída de la fertilidad del suelo (Lal, 1994).

La elevada tasa de deforestación en los países tropicales (17 millones de ha año⁻¹) no solamente tiene efectos locales como la degradación de los suelos y la pérdida de su productividad, sino que también contribuye con una cuarta parte en las emisiones de CO₂ y otros gases hacia la atmósfera, proceso que causa cambios climáticos globales contribuyendo a la pérdida de la biodiversidad en los bosques naturales y al desequilibrio de otros ecosistemas terrestres (Ibrahim, Camero, Camargo y Andrade; 1999). En América Central un alto porcentaje de las tierras en pasturas (> 35 %) se encuentra en estados avanzados de degradación, debido a ello los árboles de uso múltiple pueden jugar un rol importante en la restauración ecológica de estas, ya que contribuyen con la sostenibilidad económica de los sistemas de producción ganadera (Szott, Ibrahim y Beer, 1999). En Cuba la drástica reducción de la población de árboles, en las áreas ganaderas, por efecto de la tala, la quema y el empleo de postes de cemento o madera seca, en sus cercados ha traído como consecuencia la reducción de las áreas de sombra natural, de cercas de postes vivos, la reducción de posibles fuentes de alimentos para el ganado, la reducción del reciclado natural de los nutrientes, así como una disminución, apreciable, del área de sombreo, con la consecuencia de condiciones ecológicas adversas para el comportamiento animal y la fertilidad natural de los suelos (Iriondo, Alvarez, China y Borroto, 1998; Febles, Ruiz, Chongo, Alonso, La O, Scull, Gutierrez, Diaz y Hernandez, 1999) La investigación actual hace énfasis en el estudio de los procesos simbióticos entre bacterias u hongos fijadores de nitrógeno, hongos micorrízicos y las especies leñosas y no leñosas

presentes en los sistemas silvopastoriles (SSP), con el fin de buscar eficiencia en la absorción de fósforo (Ibrahim *et al.* 1999) dentro de suelos ácidos, compactados y lixiviados, así como la restauración de su fertilidad y de sus propiedades físicas,.

Los árboles y arbustos, en el ordenamiento de los pastizales intervienen, fuertemente, en el reciclado de los nutrientes en el sistema suelo-pasto-animal (Pimentel, Stachow, Takacs, Brubaker, Dumas, Meaney, O'neil, Onsi y Corzilius, 1992; Hernández y Sánchez, 1998), beneficiando la estructura y la fertilidad química, física y biológica de los suelos, de los sistemas de producción animal, en regiones tropicales y templadas (Lavelle, Dangerfield, Fragoso, Eschenbrenner, López-Hernández, Pashanasi, y Brussaard, 1994; Zou, Binkey y Caldwell 1995 y Cruz, 1996, 1997) con el objetivo de estabilizar el ambiente y lograr ahorros de fertilizantes, irrigación y concentrados, lo que constituye una opción que no puede ser desestimada (Febles, Ruiz y Simón, 1995), Estos últimos autores han informado del empleo de *Leucaena leucocephala* y otras especies en sistemas silvopastoriles, donde se destacan principalmente los árboles leguminosos que asociados a otras especies producen un efecto positivo por el ahorro de fertilizantes y el mejoramiento del valor nutritivo de la dieta (Hernández, Carballo y Reyes, 1999).

En los últimos años se han efectuado profundas transformaciones en la explotación de los pastos en las regiones tropicales con un enfoque agroecológico, donde los sistemas ganaderos se consideran como un ecosistema y no como una simple gestión técnico-económica. Los SSP se presentan como una opción promisorio que por sus resultados y proyección constituyen un importante paso para incrementar la productividad y sostenibilidad animal especializada en el trópico (Del Pozo, *et al* 1999), donde la *L. leucocephala* como componente arbóreo asociado con gramíneas C4, en bancos de proteínas o en el área total del pastizal, son las variantes más extendidas en Cuba por su plasticidad ecológica y por los resultados productivos alcanzados en pruebas agronómicas y con animales (Febles, Ruiz y Lazo, 1997 y Ruiz y Febles, 1998).

1.1 El árbol en el mejoramiento de la calidad del pasto a través del suelo.

La asociación de pastura con árboles, puede traer beneficios sobre la disponibilidad del valor nutritivo del forraje, teniendo en cuenta las características que presentan las diferentes especies arbóreas al adicionar nutrientes a los ecosistemas, principalmente si se trata de leguminosas arbóreas fijadoras de nitrógeno (Alpizar 1985; Macklin, Glover y Chamberlain, 1991; Young, 1997 y Mahecha, Liliana, Rosales, Molina y Molina 1998; Humphreys (1994) y Cajas-Girón, Fergus y Sinclair, 1999).

La introducción de árboles leguminosos en pasturas de ***Cynodon plectostachyus***, tuvo un efecto positivo sobre la composición química del suelo, sobre todo de nitrógeno gracias al mayor aporte de materia orgánica y a un mayor reciclaje de nutrientes (Mahecha **et al.**, 1998), ya que esta (materia orgánica) constituye el potencial de nitrógeno que estará lentamente disponible a medida que avanza la mineralización, y su acumulación en formas orgánicas es el resultado neto de numerosos procesos químicos y biológicos (Paretas, 1978).

Bolívar, Ibrahim y Donald Kass (1999) encontraron que la acacia no afectó los contenidos de Ca, Mg, K, Mn en el suelo, ni el pH y la acidez intercambiable, aunque el Ca, K y Mn tendieron a ser mayores en el sistema silvopastoril; esto repercutió en una mayor producción y calidad nutritiva del forraje de la gramínea, y de una mayor disponibilidad de material forrajero total consumible en el sistema según Mahecha, Rosales, Vicente, Hernando, Molina y Uribe (1999) y Bolívar **et al.** (1999), estos últimos autores encontraron que la ***Acacia mangium*** aumentó significativamente en el suelo los contenidos de humedad, P, N, amonio y nitratos en 15, 98, 38, 53 y 177 % respectivamente. Alpizar (1985), informó, que los porcentajes de nitrógeno presentes en el forraje de ***C. plectostachyus***, debajo de ***Erythrina poeppigiana*** (1,81 %) y de ***Cordia alliodora*** (1,51 %) fueron considerados adecuados para suplir las necesidades nutritivas de bovinos, lo que no ocurre con los tenores de nitrógeno encontrados en pasturas sin árboles (0,95 %).

Estos niveles de nitrógeno están relacionados con las cantidades de proteínas presentes en los pastos; así, Ribaski (1999) encontró que los tenores medios de proteína bruta en el forraje de las gramíneas cultivadas bajo sombra fueron siempre mayores y significativamente diferentes a los encontrados en plantas desarrolladas a

pleno sol. Resultados semejantes fueron también hallados por Castro (1996), al calcular los tenores de PB ($N \times 6,25$), para las gramíneas *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria miliiformis*, *Digitaria decumbens*, *Hemarthria altissima*, *Panicum maximun* y *Paspalum notatum*, sometida a diferentes niveles de sombreado artificial, y coincide por lo informado por Bolívar *et al.* (1999) los cuales hallaron que la *Brachiaria humidicola* presentó mayor contenido de PC en el SSP (4,7 %), comparado al monocultivo (3,2 %). Las concentraciones de fibra neutro digestible (FDN) en el forraje de capim buffel no fueron afectadas por la presencia del componente arbóreo en el sistema silvopastoril; estos resultados están de acuerdo con aquellos encontrados por Mudghalu e Isichei, (citados por Castro 1996), para *Andropogon gayanus*, *Andropogon shirensis* y *Setaria pumila*, cultivadas en sub-bosque de sabana nigeriana, donde las concentraciones de fibra neutro detergente (FDN) tampoco sufrieron alteraciones significativas.

1.1.2 Contribución de las raíces, la hojarasca y la copa de los árboles en la fertilidad de los suelos.

Los árboles pueden influenciar en el suplemento y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, al aumentar el suministro de nitrógeno dentro de las zonas de los cultivos mediante el aumento de este por su fijación biológica, la recuperación de los nutrientes de debajo de la zona de las raíces de los cultivos y al reducir las pérdidas de nutrientes por los procesos de lixiviación y erosión. Los árboles pueden aumentar la disponibilidad a través de la descarga de nutrientes de la materia orgánica del suelo y del reciclaje de residuos orgánicos (Murgueitio y Preston, 1992; Buresh y Tian, 1998 y Khanna, 1998). Según Ibrahim, (1994) la mayoría de los estudios realizados en zonas tropicales, han demostrado que los árboles y arbustos leguminosos tienen la capacidad de fijar una alta cantidad de N (hasta 150 kg ha^{-1}); en este sentido Febles y Ruiz (1996) plantean niveles de hasta $300 \text{ kg N há}^{-1} \text{ año}^{-1}$. También aportan a través de sus raíces, y por medio de la materia orgánica depositada en el suelo a través de la caída periódica o estacional, natural o provocada (cosecha), de las hojas, las flores, los frutos, las ramas y las raíces muertas (Botero y Russo, 1999); esto contribuye al mejoramiento del nivel de nitrógeno en el suelo (Bronstein, 1984; Bustamante, 1991; Belsky, 1992; Carvalho, 1994), además de aumentar la porosidad, el contenido del agua gravimétrica, la capacidad de

intercambio catiónico y la actividad de los microorganismos del suelo (Siavosh, Rivera y Gómez, 1999). Además de fijar N, los árboles tienen raíces que pueden absorber los nutrientes de las capas profundas del suelo y bombearlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura (Kass, Grime, Lawson, 1985; Mazzarino, Szott y Jimenez 1993; Febles, *et al.* 1996 & Buresh, *et al.* 1998), mejoran la materia orgánica, reducen la lixiviación y mejoran las propiedades físicas del suelo (Schroth, 1995), además los sistemas de raíces ayudan estabilizar la tierra (FAO, 1997). Con relación al contenido de materia orgánica (MO) del suelo Bustamante (1991) al evaluar asociaciones de diferentes pastos con *E. poeppigiana* y Bolívar *et al.* (1999) con *A. mangium* encontraron altos niveles lo que contribuyó a un incremento de N en SSP.

En investigaciones recientes realizadas en Kenya con árboles de rápido crecimiento y alta demanda de nitrógeno (*Calliandra calothyrsus*, *Sesbania sesban* y *Eucalyptus grandis*) se comprobó que estos tomaron el nitrato de lo profundo del subsuelo acumulándolo entre las raíces de los cultivos anuales.

Mahecha *et al.* (1999) al evaluar la acción de un sistema silvopastoril en el componente suelo determinó que los contenidos de carbono, materia orgánica y nitrógeno presentaron la misma tendencia; los mayores contenidos de estos elementos se encontraron en presencia de las leguminosas en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm; los mayores contenidos de fósforo se encontraron en las asociaciones que contaron con la presencia de las leguminosas en todas las profundidades; la misma tendencia se observó en el Ca, Mg y Na, debido a los mayores contenidos de materia orgánica en la capa del suelo, que a su vez aumentó el poder tampón en la solución del suelo, y permitió que el P se ligara en forma de humatos y pudiera estar disponible para la gramínea asociada. También, se debe considerar que algunas plantas movilizan P a través de los aminoácidos excretados por las raíces y que actúan como quelantes, ya sea por micorrizas o por bacterias de la rizosfera situación que puede presentarse en los tratamientos con leguminosas (Primavesi, 1990 y Mahecha *et al.*, 1999).

Según Velasco, (1998) la mayor cantidad de P y N observadas en el sistema silvopastoril pueden explicarse por el reciclaje que ocurre en el sistema vía hojarasca y raíces, donde se reportó una producción anual de hojarasca de 7,5 t ha⁻¹ con una concentración de 1,34 % de N y 0,045 % de P, equivalente de un retorno de 100 y 3,38

kg ha⁻¹ año⁻¹ de N y P, respectivamente. Según Febles *et al.*, (1996) algunos árboles pueden reciclar a través de la hojarasca 185,6, 12,2 y 64,1 kg há⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente. La fijación de nitrógeno que realizan los árboles fijadores de nitrógeno en el suelo puede explicarse por las relaciones simbióticas que presenta esta especie con las bacterias *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* responsables de la fijación biológica de N (Sánchez, 1994; Galiana, Gnahoua, Chaumont, Lesuer, Prin, y Mallet, 1998). Fisher (1995) reportó aumentos significativos (desde 3 a 3,3 g kg⁻¹) después de tres años de establecida la acacia; lo que conduce a un ahorro de fertilizante (Febles, *et al.* 1996).

Los mayores valores de nitratos que se reportan en los sistemas silvopastoriles pueden ser explicados por el efecto benéfico que tienen los árboles al disminuir la compactación del suelo (Fisher, 1995), ya que la aereación es una condición primordial para que ocurra la nitrificación; también es muy importante el contenido de humedad (Paul y Clark, 1996).

Según Houghton, Skole y Lefkowitz 1991, el cambio en el uso de la tierra genera una liberación neta de carbono (alrededor de 30 Pg C) y esta emisión se relaciona sobre todo con el incremento del área de pastos. Según Veldkamp (1993), las pasturas de baja producción en la zona Atlántica de Costa Rica causaron una pérdida de carbono orgánico del suelo entre 1,5 mg ha⁻¹ y 21,8 mg ha⁻¹, dependiendo del tipo de suelo. López, Schlönvoigt, Ibrahim, Kleinn y Kanninen (1999) en un sistema de pastoreo bajo árboles dispersos encontraron valores de ganancia neta de carbono de 180-200 mg C ha⁻¹; la restauración del carbono es una de las principales tareas del manejo del suelo, con vistas a mejorar su estructura y fertilidad así como ayudar a reducir el efecto de invernadero (Rosenzweig y Hillel, 2000).

1.2 Contribución del árbol en el reciclaje de nutrientes y en las características del suelo.

1.2.1 Reciclaje de nutrientes.

La función de los árboles en el ciclo de nutrientes así como la estructura y el balance hídrico del suelo han sido estudiados en los bosques; sin embargo, estos efectos no se han abordado profundamente (Hernández y Simón 1994). Así Budowski (1983)

concluyó que la producción total de biomasa comestible en estos sistemas es usualmente mayor que la encontrada en pastos solos, debido a un mejor aprovechamiento del espacio vertical, tanto aéreo como subterráneo que supone una mayor captación de nutrientes y energía. Según Wildin (1986) y Buresh *et al.* (1998) el profundo sistema radical de los árboles, les permite extraer la humedad y reciclar los nutrientes que se encuentran inaccesibles para las cosechas y las pasturas, además los nutrientes acumulados bajo la copa de los árboles, producto del valor nutritivo que presenta su follaje, les permite añadir nitrógeno al sistema, lo que favorece una mayor extracción para la persistencia y el establecimiento de pastos, así como una mayor producción de leche y carne.

En los sistemas silvopastoriles, las interacciones entre los componentes son de mucha importancia, debido a que condicionan el éxito del sistema y proveen los principales puntos de intervención del hombre para su manejo (Borel, 1987 y Giraldo, 1999).

Según Pezo (1992), las interacciones entre los árboles y el suelo en los sistemas silvopastoriles, en relación con la cantidad de nutrimentos reciclados a través de las ramas de los árboles dependerá de:

1. Densidad de los árboles. Los ensayos realizados por Rodríguez, (1985) mostraron el efecto de dos densidades de árboles há^{-1} (1666 y 3333) en la producción y calidad del forraje y en los nutrientes extraídos en una asociación de King Grass (*Pennisetum purpureum x Pennisetum typhoides*)/ Piñón (*E. poeppigiana*), en la que se destacó el aporte de la leguminosa arbórea al sistema a partir de sus hojas, ramas y la fijación simbiótica de nitrógeno, Benavides, Libreros, Kass, Pezo y Borel, (1994) en un trabajo con estas mismas densidades y especies pero con diferentes frecuencias de podas (3 y 4 podas año^{-1}) y un testigo obtuvo mayor producción de materia seca total (30,9 vs 22,8 t ha^{-1}), similar producción de materia seca del pasto y mayor contenido de proteína bruta del pasto (6,06 vs 4,74 %, $p < 0,05$) a favor de la asociación.

Russo (1983) y Giraldo, (1999) en Costa Rica encontraron una producción de biomasa de 23 t de MS $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, mediante una poda anual en plantaciones con 280 árboles ha^{-1} de *E. poeppigiana*, que aportaron 331 kg de nitrógeno, 32 kg de fósforo, 156 kg de potasio, 319 kg de calcio y 86 kg de magnesio.

Los árboles de *E. poeppigiana* (280 árboles ha⁻¹) plantados desde 1977, fueron podados a 2,5 m de altura y asociados con ocho gramíneas para pastoreo. Los árboles fueron cosechados mediante poda cada seis meses. Las gramíneas *P. maximum* CIAT 16051 y 16061, *Brachiaria brizantha* CIAT 664 y 6780, *B. humidicola* CIAT 633 y *Cynodon nlemfuensis* tuvieron mayor producción de forraje entre 10 y 34 % y también mayor contenido de proteína cruda asociadas en la silvopastura con *E. poeppigiana*, que en cultivo puro; mientras que la producción de forraje de *Brachiaria dictyoneura* CIAT 6133 y de elefante enano (*Pennisetum purpureum cv. Mott*) disminuyó en 10 cuando estaban asociados con *E. poeppigiana* (Botero *et al.*, 1999).

En Colombia desde 1987 se asocio, *Erythrina fusca* (pízamo, bucare o poró blanco) en densidades de 625 y 1111 árboles há⁻¹ con la gramínea forrajera estrella africana (*C. nlemfuensis*). Los árboles se cosecharon mediante poda cada tres meses, y el rendimiento fue de 30 y 50 t ha⁻¹ año⁻¹ de forraje verde, el pasto tuvo una producción de 84 t ha⁻¹ año⁻¹ de forraje verde, lo que ha permitido mediante pastoreo rotacional y sin fertilización ni riego, mantener una carga de 3,0 U.A ha⁻¹ (Rodríguez y Cuéllar, 1993 y Botero *et al.*, 1999); sin embargo, la carga puede ser un factor que produzca compactación en el suelo (Siavosh, *et al.* 1999). Samsuzzaman, Garrity y Quintana (1999) concluyeron que la aplicación al suelo de las hojas de especies arbóreas mediante la poda es una alternativa para conservar los recursos del suelo.

2. Tipo de especie: En este aspecto se conocen los resultados alcanzados por Bronstein, quien comparó la influencia de tres sistemas, pasto estrella (*C. nlemfuensis*), pasto estrella más piñón (*E. poeppigiana*), y pasto estrella más laurel (*C. alliodora*), en la producción de fitomasa, el ciclaje de nutrientes y la calidad nutritiva.

El ciclado de nutrientes a través de la caída de las hojas fue de 64,3 vs 185,6, 6,2 vs 12,2 y 29,3 vs 64,1, para nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente al comparar laurel con piñón; en la producción de fitomasa de la gramínea se obtuvieron 4087, 9311 y 2632 kg há⁻¹ año⁻¹, para la asociación de pasto estrella-laurel, estrella-piñón y el monocultivo de pasto estrella respectivamente, comportándose de igual forma la calidad nutritiva (6,4; 9,5 y 6,1 % de proteína bruta) y en la asociación estrella más piñón fue superior; se evidencio además, que la descomposición del material arbóreo que se

deposita en el suelo puede ser rápida y una gran proporción de los residuos no consumidos se incorpora en la fracción orgánica del suelo o es absorbido directamente por las especies forrajeras asociadas.

Crespo y Fraga (1996), al evaluar la descomposición de la hojarasca de gramíneas y leguminosas encontraron que las leguminosas demoraron para su total descomposición entre 4 y 6 meses, aportando a los 90 días de incubación el 95 % del potasio y el 70 % del nitrógeno y el fósforo, mientras que en similar tiempo la hojarasca de **C. nlemfuensis** liberó sólo el 40 % de potasio, el 16 % del nitrógeno y el 11 % del fósforo. Lupwayi y Haque (1998) al estudiar a las leguminosas sesbania y leucaena como fuentes para incorporar nutrientes al suelo determinaron que ambas especies son fuentes significativas de N, K, y Mg y menos significativas en P y Ca y que las hojas de sesbania tuvieron una mineralización más rápida, lo que concuerda en cuanto al N y al P con lo informado por Mafongoya, Giller y Palm (1998).

Gómez, Rodríguez, Murgueitio, Rios, Rosales, Molina, Molina y Molina (1997) y Siavosh **et al.** (1999) al evaluar el ciclaje de nutrientes en un banco de **Gliricidia sepium** encontraron que el balance de nutrientes fue positivo, se activó la absorción y la circulación de nutrientes (997 para el N, 50,3 para el fósforo, 314 para el potasio, 282 para el calcio y 125 para el magnesio, kg há⁻¹ año⁻¹, respectivamente), y concluyeron que además de la fijación de nitrógeno atmosférico y el aumento de la retención de carbono en el suelo (20 % de materia orgánica en un año), la **G. sepium** también contribuyó al ciclaje y reciclaje del P, K, Ca y Mg (Gómez y Preston, (1996). En asociaciones de piñón y king grass, Libreros (1990) estudió el efecto de la adición de diferentes niveles de follaje en el suelo, sobre la producción de biomasa del pasto, la biomasa total y los parámetros del suelo. Los resultados mostraron que la producción de pastos fue mayor bajo los árboles (20 a 30 t de MS há⁻¹ año⁻¹) que en monocultivo (15 t de MS há⁻¹ año⁻¹), incrementándose a medida que aumentó la cantidad de follaje depositado en el suelo (0 a 9,2 t de MS há⁻¹ año⁻¹), Benavides **et al.**, (1994) obtuvieron un mayor incremento en la zona de los árboles, pero en este caso con pasto estrella; Vasconcelos, Hernández, Benavides, Gonzáles, Fuentes y Esquivel (1996) y Hernández, Benavides, Camero, Finnegan y Ferreiro, (1996) refieren valores superiores en las áreas de asocio con árboles de **E. poeppigiana** con **Hibiscus rosa-sinensis** y

Bahuinia purpurea. con ***P. maximum***; en este último caso la proteína ascendió de 7,3 % en el monocultivo a 9,6 % en asociación.

1.2.2 Características del suelo.

La fertilidad y la capacidad reproductiva de nuestros suelos, depende en gran medida, del contenido de humus y de la materia orgánica, ya que estos constituyen una fuente nutritiva para los organismos heterotróficos del suelo, influyendo de manera decisiva en las propiedades físicas como la estructura, la capacidad de retención de humedad, etc y también en las características químicas como la capacidad de absorción de cationes (capacidad de intercambio catiónico), el suministro de nutrientes a las plantas, tanto los cationes absorbidos a su superficie (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ y microelementos) como los liberados cuando la materia orgánica se mineraliza; N, S y P entre otros que forman parte constituyente de la misma; es decir, influye tanto en el régimen de los nutrientes como en la capacidad transformadora del suelo, así Renda, Calzadilla, Jiménez y Sánchez (1997 y 1999) al evaluar, durante seis años, el suelo de pastizales con árboles encontraron una elevación en el contenido de materia orgánica de 3,45 %, al iniciar las investigaciones en 1986, a 4,19 % en 1992, con una tendencia similar en los nutrientes (nitrógeno y fósforo). Hernández y Sánchez (1999) al analizar los sistemas silvopastoriles en diferentes tipos de suelos hallaron que los análisis de la composición química del suelo mostraron una ligera tendencia a la acidificación en las fincas con silvopastoreo, aunque los valores se encuentran en los rangos normales para el crecimiento de las gramíneas, y los contenidos más elevado de Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ se encontraron en la finca 2, donde se presenta una mayor cantidad de oligoquetos (840 vs 116 y 204 individuos m^2^{-1} para las fincas 2 (pardo con carbonato), 1 (Ferralítico Rojo) y 3 (Ferralítico Rojo), respectivamente), lo que concuerda con lo informado por Sánchez, *et al.* (1997) pero con ***B. purpurea***. Sin embargo lo más significativo es el contenido de nitrógeno fácilmente hidrolizable que fue mayor en las dos fincas con silvopastoreo (103 kg há^{-1} más que en la finca testigo) (Hernández *et al.*, 1999).

Según Cairo y Fundora (1994) la mayor parte de la materia orgánica del suelo tiene origen vegetal y proviene de la vegetación herbácea de los bosques y de los restos de las cosechas; la materia orgánica es la principal fuente de nitrógeno del suelo para las plantas y generalmente más del 95 % del nitrógeno total del suelo se encuentra en la

materia orgánica del mismo. Este componente es la principal fuente de azufre para las plantas, y a veces también la principal fuente de fósforo para el vegetal. Su influencia es decisiva en las propiedades físicas como la estructura (granulación) del suelo y la capacidad de retención de la humedad. Las plantas superiores influyen en la formación del suelo, tanto durante el periodo de crecimiento y desarrollo como después de muertas, cuando sus residuos aéreos y radicales caen en la superficie o quedan formando parte del espesor del suelo (Cairo **et al.** 1994 y Farrel, 1996). Según Isichei y Muoghalu, (1992) el efecto de los árboles sobre los suelos en los diferentes sistemas silvopastoriles se traduce en un incremento de la fertilidad y en la modificación de las características físicas del suelo como su estructura (Siavosh **et al.** 1999); este efecto es más marcado cuando los árboles alcanzan tamaños mayores (Giraldo, 1999).

Siavosh **et al** (1999) al evaluar la fertilidad del suelo en un banco de nacedero (*Trichanthera gigantea*) con dos años de establecido en un lote proveniente de un potrero de estrella (*C. nlemfuensis*); banco mixto de nacedero + chachafruto (*Erithrina edulis*) con nueve años y un potrero con 12 años, compuesto por mezclas de pasto estrella, Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), braquiaria (*B. decumbens*), yaraguá (*Melinis minutiflora*) y gramas nativas (*Paspalum sp*), así como algunas especies de leguminosas herbáceas como *Desmodium sp.* y *Stylosanthes sp.* obtuvieron que el contenido de materia orgánica fue mayor en el área de potrero, debido a las relaciones que se establecen en el manejo de las plantas y los animales; no obstante, en el potrero donde la materia orgánica fue mayor el contenido de fósforo fue menor; esta diferencia fue hallada con respecto al banco mixto lo que se debe a que involucra una especie leguminosa como la *E. edulis*, además estos autores plantearon que existe una movilización potencial del fósforo en la rizósfera por los microorganismos como las bacterias (*Aerobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*), los hongos (*Aspergillus*, *Alternaria* y *Penicillium*), las micorrizas son las más estudiadas dentro de estos últimos. También la disponibilidad de fósforo puede estar ligada a leguminosas herbáceas, las que movilizan cantidades apreciables, por ejemplo, caupí (*Vigna sinensis*) y kudzú (*Pueraria phaseoloides*) y árboles como matarratón (*G. sepium*) y pízamo (*E. fusca*).

Tan pronto los restos vegetales, fuente principal de humus, se desprenden de las plantas y mueren, comienza su descomposición y transformación por la acción de los micro y macroorganismos. En la vegetación de los bosques el aporte principal es de la parte aérea, por ello la mayor cantidad de humus se encuentra en la superficie, mientras que a mayor profundidad es menor con relación con las gramíneas, pues el sistema radical de los árboles se transforma muy lentamente, lo cual se traduce en un menor contenido de humus.

En las gramíneas por ser anual su ciclo vegetativo, su aporte es más periódico y la descomposición es más rápida, por lo cual la distribución en las profundidades es más uniforme, es decir, en el césped la incorporación de materia orgánica, unido al potente enraizamiento da lugar a horizontes húmicos de mayor espesor en el bosque (Cairo *et al.* 1994). El ácido húmico que se produce por el proceso de descomposición unido al ácido carbónico que se crea alrededor de las raíces de las plantas puede aumentar la actividad microbiana, descompone los minerales mayores y posiblemente altera el pH del suelo de tal manera que se disponga de los nutrientes que antes no existían (Jeavons, 1996).

Se ha reportado que los suelos tropicales bajo vegetación forestal muestran contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total significativamente más altos que los suelos con vegetación tropical de sabana en una profundidad de 0-15 cm; mientras que la relación carbono nitrógeno es más baja en los primeros que en los segundos (Cairo *et al.* 1994). La materia orgánica contribuye a aumentar sensiblemente la porosidad (la cual es un resultado de la textura, estructura y la actividad biológica del suelo), es decir, son los suelos ricos en elementos coloidales los que tienen la mayor porosidad, siendo este uno de los principios de determinación de la estabilidad estructural, junto a los agregados estables, debido a su alto contenido de materia orgánica y la presencia de hierro o calcio.

El Ca^{2+} provoca la floculación de la arcilla, y proporciona al suelo una reacción favorable al crecimiento de las raíces y los microorganismos. Un suelo exento de materia orgánica no se agrega fácil y rápidamente al agregante Ca^{2+} ; por otro lado, el Na^+ tiende a desflocular la arcilla y crear una reacción donde mucho de los nutrientes no pueden aprovecharse, por lo tanto causa una mala reacción y disminuye el crecimiento

de las raíces y los microorganismos. El Ca^{2+} es el elemento positivo en la formación de la estructura, el mismo aumenta la cohesión del suelo, frena el estallido de los agregados y modera la dispersión de los coloides (Cairo *et al.* 1994 y 1996.)

Las plantas ayudan a agregar las partículas del suelo, lo más importante es la excreción de los compuestos orgánicos gelatinosos por las raíces que servirán como ligamento entre las sustancias inorgánicas. La presión ejercida por la raíz, el CO_2 producido en la respiración y los minerales excretados, también son importantes. Las pequeñas raicillas mantienen juntas las partículas.

La deshidratación del suelo por la raíz causa grietas al encogerse el suelo, lo que origina rompimiento y posteriormente, la formación de agregados. El follaje de las plantas y su residuos cubren el suelo y lo protegen de los cambios bruscos de temperatura y humedad y de los efectos de las gotas de lluvias, lo que favorece la infiltración en detrimento de la escorrentía, reduce la erosión y los riesgos de inundación (Cairo *et al.* 1994 y Febles *et al.* 1996). Los residuos vegetales, tanto el follaje como la raíz, proporcionan la base alimentaría de los microorganismos del suelo, que son uno de los principales factores agregantes (Cairo *et al.* 1994).

La materia orgánica aumenta la estabilidad de la estructura ejerciendo por un lado, el efecto de una cementación sobre los constituyentes de los agregados.

En los suelos donde la baja porosidad es total se provoca una baja capacidad de campo, por consiguiente disminuye la posibilidad de almacenamiento de agua. Por esta razón, en tales suelos tiene lugar un intenso movimiento capilar, ya que en estado húmedo el total de los poros están llenos de agua, y en el suelo hay muy poco aire o ninguno, lo que hace que predominen las condiciones anaerobias, bajo cuya influencia la descomposición de la materia orgánica avanza lentamente (Cairo, *et al.* 1994).

Un exceso de agua en el suelo puede interferir la respiración de la raíz, con lo cual esta reduce la cantidad de energía que puede obtener de los carbohidratos que llegan a ella producto de la fotosíntesis; este mismo efecto lo produce una estructura inadecuada del suelo que impide la circulación del aire (García-Trujillo, 1996); una estructura compacta del suelo, limita el desarrollo de la raíz, y lo confina a un espacio pequeño. Este efecto elimina la vía que tienen las plantas tropicales de crecer en suelo con baja capacidad de

cambio catiónico, ya que se limita su capacidad para explorar una gran cantidad de suelos a través de un sistema radical profuso.

En los suelos cuya porosidad tiene una estructura grumosa alta y alcanza como mínimo el 50 % la distribución de los poros de acuerdo con su tamaño es adecuada y por tanto el suelo es capaz de almacenar el agua de lluvia y drenar el exceso de esta hacia las capas inferiores; el agua no se acumula en la superficie y la buena conducción del agua permite que el suelo se humedezca hasta la profundidad (Cairo *et al.* 1994); además, por lo general una mayor capacidad de cambio catiónico, (lo que posibilita una mayor disponibilidad de nitratos por la planta) y una buena aereación del suelo, favorecen a los organismos aeróbicos del suelo y se reducen las pérdidas de nitrógeno al beneficiarse el proceso de nitrificación (García-Trujillo 1996)

Estas propiedades beneficiosas que presenta la integración del árbol a los sistemas ganaderos, la convierten según Lal (2000) en una tecnología apropiada para los países en desarrollo.

1.3 Efecto de la copa de los árboles y su sombra en el mejoramiento de la calidad del pasto y del suelo.

1.3.1 Pasto:

La producción y la calidad de los pastos en el trópico son afectadas por factores climáticos (Benavides, 1999)).

La sombra difusa transmitida por los árboles regula adecuadamente la energía solar que incide sobre la superficie del suelo, disminuyen la erosión (Simón, Hernández, y Ojeda, 1998 y Hernández *et al.*, 1999) y regula la temperatura del suelo (Farrell, 1996) además de favorecer el crecimiento y desarrollo de las leguminosas adaptadas a esas condiciones, mientras que controla el crecimiento excesivo y agresivo de las gramíneas y modera la competencia a favor de las primeras (Hernández, *et al.* 1999). También la atenuación de las temperaturas a nivel del estrato inferior favorece una menor tasa de maduración y, en consecuencia, una declinación más lenta de la digestibilidad (Febles *et al.* 1996).

El grado de iluminación que recibe un pastizal provoca variaciones en los rendimientos, modifica el contenido bioquímico de su biomasa (Pentón y Blanco, 1997) e influye en

los niveles de extracción y utilización de los nutrientes, lo que está muy relacionado con el estado mineral del suelo y su dinámica en interacción con otros factores naturales, como el clima, la presencia de la macrofauna y la microfauna y la competencia a la interferencia de los árboles, arbustos y otras plantas vecinas.

El aumento de la intensidad de la luz hace que la cantidad de carbohidratos solubles en el pasto aumente, además de que ocurre una mayor transpiración y transporte de sustancias, que influyen notablemente en la translocación y distribución de los minerales (Herrera, 1983).

Cuando la intensidad de la luz aumenta por encima de cierto valor se puede producir la fotooxidación catalizada por la clorofila; este fenómeno se agudiza en presencia de oxígeno y provoca un cambio de color en la clorofila y la inactivación de las enzimas principalmente aquellas que intervienen en la síntesis con el consiguiente aumento de los azúcares (Herrera, 1983).

Herrera, (1983), señala que bajo condiciones adecuadas de humedad y nutrimentos, el crecimiento, la producción y la calidad del pasto dependen de un grupo de factores y en especial de aquellos que tienen que ver con la radiación solar, ya que esta afecta directamente a la fotosíntesis e indirectamente a otros procesos metabólicos; por lo que parece existir diferencia a la alta dependencia entre la biosíntesis de clorofila y las condiciones de iluminación según las especies de plantas; así Pentón *et al.* (1997), al realizar experimentos con *Cynodon sp* bajo tratamiento de alta intensidad luminosa, obtuvieron que la disminución de la luz fue en detrimento de la clorofila; mientras que en estudios efectuados en Cuba sobre los procesos fisiológicos en alfalfa (*Medicago sativa*), trébol (*Trifolium sp.*) y rhodes (*Chloris gayana*), la sombra contribuyó a la biosíntesis de pigmentos verdes y amarillos y se notó un incremento en el porcentaje de clorofila B (Pentón *et al.* 1997). Estos mismos autores al estudiar el efecto de diferentes factores ambientales sobre los procesos fisiológicos de las gramíneas y las leguminosas sugirieron que la formación de pigmentos fue sensible en un mayor grado a los cambios en las condiciones de nutrición mineral que a la disminución de la intensidad luminosa. No obstante, en un medio nutritivo deficiente en nitrógeno en las plantas mencionadas anteriormente, la cantidad de clorofila fue de 1 a 6 veces mayor bajo la sombra que a cielo abierto. Este resultado confirmó que la disminución de la luz

fue más eficaz en las condiciones de un régimen desfavorable de nutrición mineral, el cual estaba deficiente en fósforo, potasio y nitrógeno.

En un ensayo realizado bajo condiciones de 73 % de luz, Shischenko y Capote (1976) encontraron que el contenido de clorofila y caroteno en las hojas aumentó con la disminución de la luz, lo que se interpreta como una posible evidencia de la adaptación del aparato fotosintético de las plantas al régimen de sombra. También Pentón *et al.* (1997) planteó que las plantas adaptadas a la sombra tienden a tener una mayor cantidad de clorofila que las plantas adaptadas a la luz, lo cual posibilita la capacidad de captar y consumir mayor cantidad de luz difusa.

La presencia de árboles en las pasturas según Bolívar *et al.*, (1999) puede afectar la concentración de minerales en el suelo y el pasto, debido a que la atenuación de la luz recibida por un pastizal propicia cambios en la composición química de su biomasa; diferentes autores consideran que bajo esta condición se producen marcados incrementos en el contenido de cenizas y nutrimentos minerales (Pentón *et al.* 1997). Ello pudiera explicarse por el hecho de que la sombra, reduce el metabolismo en las hojas y limita el desbalance entre los productos fotosintéticos y el suministro de minerales. Pentón *et al.* (1997) informaron el efecto negativo de la sombra proyectada por una cubierta cerrada de palma (*Roystonea regia*) sobre plantas pratenses; ellos observaron que todos los minerales de las plantas disminuyeron en el tiempo, excepto el P y el Mg. Los menores niveles fueron apreciados en las especies de *Brachiaria* y los mayores correspondieron a *P. máximum*, *Axonopus compresus* y *Paspalum conjugatum*. Guevara, Ruiz, Curbelo, Jimenez y Canino, (1994) señalaron que en un experimento con guinea común (*P. máximum*) bajo diferentes condiciones de luz (47, 62 y 100 % de luminosidad), la variación en el contenido de Ca y P fue significativa. En Australia con un nivel de radiación de 55 % de luz en verano y 35 % de luz en invierno, la concentración de K en plantas de *P. notatum* resultó mayor a la sombra que al sol y el contenido de fósforo no difirió (Wilson, Cameron, Shelton y Hill, 1990); a su vez estos mismos autores destacaron que en un área uniforme de *P. notatum* que crecía bajo sombra, el pasto presentó una mayor proporción de P que al sol.

En una prueba realizada en macetas Wong (1990) y Pentón, *et al.* (1997) estudiaron la respuesta de cuatro leguminosas a diferentes intensidades de sombra (100, 56, 34 y 18

% en invierno) y observó que el promedio de Ca, P, Mg y K y se incremento con la disminución de la luz; ***Stylosanthes sp.*** fue la planta de mayor contenido de Ca y ***Leucaena sp.*** la que acumuló más K.

En diferentes estudios Belsky, (1992); Carvalho, ***et al.*** (1994) y Carvalho, Freitas, y Andrade, (1995), evaluaron el comportamiento de algunas gramíneas tropicales bajo diferentes especies arbóreas y encontraron que las plantas sombreadas presentaron mayor porcentaje de P, K, Ca, B y Cu.

El análisis de estos resultados sugiere que el P debe ser tenido en consideración como posible elemento más beneficiado y estable en las condiciones de atenuación de luz; además en el caso de las gramíneas, el por ciento de sombra favorable al mejoramiento y la estabilidad de su composición mineral oscila alrededor del 50 % (Pentón, ***et al.*** 1997), mientras que Acosta (1998) al realizar el estudio de diferentes especies de árboles y arbustos de leguminosas, consideró que un 36 y 38 por ciento de luz proyectaron una sombra de media a menos densa, las que se encuentran dentro del rango considerado como aconsejable.

Muchos autores parecen coincidir en el hecho de que en los pastizales establecidos bajo los árboles que a través de sus copas permiten desde el 15 hasta el 60 % de penetración de la luz, se alcanzan mayores niveles de sustancias nitrogenadas (Bronstein, 1984 y Pentón, ***et al.*** (1997).

Pentón, ***et al.*** (1997) en un ensayo efectuado bajo una cubierta cerrada de palma (***R. regia***), notaron que el ***Desmodium ovalifolium*** en condiciones de severo sombreadamiento, alcanzó un contenido de 34kg de N há⁻¹año. Por su parte, Wong (1990) y Pentón, ***et al.*** (1997) observaron que la proteína bruta, que es un indicador del N acumulado en la planta, se incrementó con intensidades de sombra desde 18 a 56 % de luz diurna. Las leguminosa de mayor contenido de proteína bruta fueron ***P. phaseoloides***, ***Calopogonium muconoides*** y ***Calopogonium coemleum***.

En Sandford sur oeste de Queensland, Australia, Wilson, ***et al.*** (1990) encontraron una mayor proporción de N en de ***P. notatum*** establecido bajo una plantación de ***E. grandis*** comparado con un testigo a sol abierto. Holmes y Cowling, (1993) al estudiar el efecto de la sombra en el comportamiento morfofisiológico de seis especies de pastos subtropicales, demostraron que en todos los casos el contenido de nitrógeno en las

hojas aumentó bajo un 80 % de sombra. Fleischer, Masuda y Goto, (1984) informaron que el contenido de nitrógeno en *P. maximum* disminuyó a medida que aumentó la intensidad de luz natural. También Wong y Wilson (1980) y Pentón *et al.* (1997) señalaron que la acumulación de nitrógeno en esta especie mejoró significativamente bajo la sombra, lo cual permitió entre el 40 y 60 % de luz solar total.

Estos resultados coinciden con los de Guevara, *et al.* (1994) quienes encontraron diferencias significativas para la proteína bruta a favor de las áreas con sombra, en un ensayo con guinea común (*P. maximum*) bajo el algarrobo común (*Albizia saman*), y con los de Ruiz *et al.* (1998) que encontraron mayor calidad en el pasto (*C. nlemfuensis*) bajo la sombra de *L. leucocephala* el cual alcanzó 10 % de proteína bruta y en el monocultivo fue de 7 %.

Daniel y Couto (1999) encontraron que el pasto guinea (*P. maximum var. Tanzania*) sufre mucho con la sombra de los árboles de eucalipto, y observaron que el índice de cobertura del suelo varió de 0,50 % a 1m de la línea de árboles, hasta 19 % entre 4 y 6 m de la línea. En términos de productividad, Givaldo, Botero, Saldarriaga y David, (1995) y Daniel *et al.* (1999) concluyeron que el simple incremento en la densidad de los árboles de (74 a 96 árboles há⁻¹) redujo en 50 % el rendimiento del forraje en el verano en Colombia. Esta gramínea es, sin embargo, una de las más productivas bajo sombra moderada, junto con *Setaria sphacelata* Castro, 1996. Quam y Jonson (1994) reportaron que la producción de heno de gramíneas y leguminosas fue 20 % mayor durante 14 años de comparación entre área protegida y no protegida por árboles en sistema de cortinas rompevientos.

Pentón, *et al.* (1997), Hernández *et al.* (1994) y Botero *et al.* (1999) en un estudio acerca de la influencia de los árboles leguminosos y no leguminosos sobre el follaje de los pastos que crecían bajo ellos, encontraron que la estrella africana (*C. nlemfuensis*) asociada a *E. poeppigiana*, con un 44 % de penetración de la luz solar, alcanzó un 8,4 % de proteína bruta; mientras que el mismo pasto a pleno sol tenía un contenido de 6 %, lo que coincide con lo informado por Pentón, Blanco y Soca, (1998) al comparar diferentes densidades de árboles por hectárea, con el sistema sin árbol, mientras que los por ciento de materia seca y fibra bruta se mantuvieron estables. Pentón, Blanco y Sosa (1998) destacaron la conveniencia de usar en los sistemas agroforestales árboles

del género Leguminosae con hojas pequeñas, que proveen una sombra adecuada y permiten la llegada al suelo de la radiación difusa.

Wilson, Catchpoole, y Weier (1986) estudiaron en pastizal de *P. maximum* dos intensidades de luz (100 y 37 % de transmisión) y obtuvieron que el nitrógeno total presente en el área foliar fue de 52 kg há⁻¹ en el área sin sombra comparado con 107 kg há⁻¹ en la parcela con sombra. Según estos autores el incremento no pareció deberse a la transferencia de nitrógeno de las raíces, aunque estos contenían una considerable cantidad del elemento (197 y 191 kg há⁻¹, respectivamente); además, ellos indicaron una posible extracción de nitrógeno por la sombra, que se hace evidente bajo las condiciones en que el nitrógeno disponible en el suelo es un factor limitante. Esto último concuerda por lo planteado por Pentón, *et al.* (1997) quien consideró que la sombra incrementó la absorción de nitrógeno en la planta al mejorar la mineralización de este en el suelo.

En un experimento realizado con *P. notatum* bajo los árboles donde los niveles de radiación recibidos por el estrato herbáceo fueron de 55 % de luz en pleno verano y 35% en invierno, el total de nitrógeno extraído del suelo fue superior a la sombra (67 % en verano y 18 % en invierno) que a un 100 % de incidencia de luz (Wilson, Catchpoole, y Weier, 1990).

Libreros *et al* (1994) observaron que en la extracción de nitrógeno se presentó diferencias significativas entre el monocultivo y el pasto asociado con *E. poeppigiana*; en el caso de los demás minerales, la gramínea no asociada efectuó la menor extracción, la cuál aumentó a medida que se incrementó el deposito de material de poda de los árboles.

Parece haberse establecido universalmente que la reducción de la intensidad de luz disminuye la concentración de carbohidratos estructurales en las gramíneas y leguminosas y en estas circunstancias mientras se afectan negativamente los azúcares solubles, se producen marcados incrementos en el contenido de nitrógeno (Pentón *et al.* 1997).

Ello puede explicarse por el hecho de que en condiciones de baja intensidad de luz el nitrógeno soluble total se incrementó, debido inicialmente a la acumulación de nitratos en las hojas, aun sin fertilización nitrogenada.

En este sentido, Shöberkin citado por Pentón, **et al.** (1997) sugirieron que las intensidades de luz menores de $6,27 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ condujeron a un decrecimiento del azúcar y un incremento del contenido de $\text{NO}_3^- \text{N}$.

Este mismo comportamiento se manifestó en condiciones de sombra natural por el efecto de la presencia de los árboles, de acuerdo con lo afirmado por Bronstein (1984) y Pentón, **et al.** (1997). Según las consideraciones de Pentón **et al.** (1997) la disminución en la concentración de carbohidratos solubles responde al hecho de que la planta que permaneció a la sombra o en la oscuridad requiere más energía para reducir los nitratos, para lo cual utiliza los azúcares solubles. Además este autor planteó que el aumento de la intensidad de la luz, junto a la elevación de la temperatura, implica un incremento en el nivel de carbohidratos estructurales debido a una mayor tasa de transpiración.

Herrera (1983) plantea que el pasto guinea sometido a un estrés de agua (similar al que ocurre en praderas descubiertas) disminuye su contenido de carbohidratos estructurales y mantiene una tendencia a aumentar los carbohidratos solubles y la proteína. La disminución de los componentes estructurales puede estar asociada a una disminución en la síntesis de la pared celular, retardo en el desarrollo de la planta, alargamiento del tallo y la floración; asimismo el estrés hídrico aumenta la cantidad de hojas muertas y retarda la aparición de las hojas jóvenes. Se ha visto que el incremento de la temperatura aumenta la transpiración con la consiguiente pérdida de agua. El mayor transporte por lo general ocurre en un rango de temperatura entre 20 y 30°C. Sin embargo, las temperaturas fuera del rango biológico ya sean por arriba o por debajo, pueden causar inactivación de múltiples enzimas y la desorganización de las células. El mayor desarrollo de los pastos tropicales ocurre entre 30 y 35°C con un considerable alargamiento de los tallos, que ocasiona una disminución del por ciento de hojas y a su vez un rápido descenso de la digestibilidad del tallo, especialmente cuando tienen una edad avanzada. La formación de lignina se ve incrementada con la temperatura y se encuentra incrustada en la fibra. Esta de por sí es casi indigestible, pero además inhibe la digestión por el animal de los carbohidratos estructurales (Herrera, 1983).

Fleischer, **et al** (1984), en un estudio sobre la intensidad de luz en pastizales de **P. maximum**, sometieron las plantas a diferentes intensidades de luz natural (11, 26, 42,

60, 75 y 100) con una radiación promedio diurna de $19,15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ y } 7,14$ horas de luz diaria, y obtuvieron que las mayores intensidades de luz fueron en detrimento del contenido de nitrógeno, mientras que los componentes de la pared celular aumentaron. Benavides, **et al.** (1994) en un estudio sobre king grass (*Pennisetum purpureum x Pennisetum tiphoides*) y *Pennisetum purpureum* y *Erytrina poeppigiana* en asociación encontraron una alta correlación entre el porcentaje de intersección de la luz por los árboles y los contenidos de materia seca y proteína bruta del pasto; estos autores hallaron además que el contenido de proteína bruta del pasto fue un 27 % mayor en la asociación que en el testigo.

Algunos investigadores han observado que en condiciones de elevada reducción de nitratos y de asimilación en la oscuridad, los glucidos en la planta disminuyeron significativamente; sin embargo, esta reducción no parece ser tan grande en presencia de la luz, a causa de los efectos compensadores de la fotosíntesis (Pentón, **et al.** 1997). La fotosíntesis produce sustancias osmóticamente activas como son los azúcares, lo cual reduce el potencial hídrico de las células oclusivas y les permite absorber el agua (Vázquez y Torres, 1995).

Pentón, **et al.** (1997) plantearon que la intensidad de la luz afecta la composición química de las plantas de manera antagónica a la fertilización nitrogenada; así cuando el nitrógeno es un factor limitante y existe una alta intensidad luminosa, se incrementa la producción de materia seca, pero ocurre un agotamiento de los nitratos y la proteína. Sin embargo, según Pentón **et al.** (1997) al aumentar el suministro de nitrógeno y en presencia de una alta intensidad de luz, disminuye el contenido de nitratos, pero aumenta el por ciento de proteína y carbohidratos solubles.

Según Pezo (1992) las altas temperaturas favorecen el contenido de materia seca debido a una mayor eliminación de agua por transpiración, lo que implica tasas más rápidas de maduración y una declinación de la digestibilidad con la edad; además, según Vázquez **et al.** (1995) las altas temperaturas que se producen en los mediodías de veranos de la regiones tropicales y ecuatoriales hacen descender el valor de la transpiración por su efecto en el cierre de los estomas y el desbalance que suele producirse en esas horas del día, entre la pérdida de agua por transpiración y la absorción de agua por las raíces, lo que hace que la planta reduzca su actividad

fotosintética y se afecte su crecimiento. También en estas horas, se produce un déficit hídrico que inhibe la síntesis de proteínas y ocurre una aceleración de la degradación de las proteínas ya formadas; este hecho se manifiesta como un aumento significativo en los niveles de aminoácidos libres y principalmente de prolina libre, lo que puede ser aminorado con el empleo de árboles en la ganadería (Pezo, 1992).

Mahecha *et al.* (1998, 1999) en el Valle del Cauca, Colombia lograron producciones totales de forraje (materia seca) de 39,3 t ha⁻¹ año⁻¹ en el sistema pasto Estrella + **Leucaena** + Algarrobo (33,4, 5,6 y 0,3 respectivamente); 38,9 en el sistema pasto Estrella + Algarrobo (38,3 y 0,6 respectivamente) y 23,2 t ha⁻¹ año⁻¹ en el monocultivo de gramínea. En cuanto a la composición química, los contenidos de proteína cruda de la gramínea, en el monocultivo (11,2 %) fueron inferiores a los de los tratamientos con presencia de leguminosas (14,5 % para el sistema pasto estrella + **leucaena** + algarrobo y 13,95 % para el de pasto estrella + algarrobo). Vale la pena resaltar que la gramínea asociada a las leguminosas algarrobo y leucaena sin urea, alcanzó contenidos de proteína similares a la gramínea asociada con Algarrobo y 400 kg ha⁻¹ año⁻¹ de fertilización nitrogenada. Esto evidencia las bondades de estas leguminosas en la fijación de nitrógeno atmosférico y en el aporte de materia orgánica.

Esta mayor producción de biomasa de los sistemas silvopastoriles respecto al monocultivo se atribuye a un mejor aprovechamiento del espacio vertical, tanto aéreo como subterráneo que supone una mayor captación de nutrientes y energía (Benavides, 1983 y Mahecha *et al.*, 1999); en este caso, el algarrobo aporta legumbres, la leucaena en un segundo estrato aporta forraje, al igual que la gramínea en el primer estrato.

También Murgueitio y Calle, (1999) al comparar la producción de biomasa del pasto estrella en El Hático, Colombia en tres sistemas diferentes: plena exposición al sol, asociado con árboles de algarrobo y asociado con leucaena y algarrobo, obtuvieron 22, 33 y 30 t de MS há⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

En un ensayo con guinea común Guevara *et al.* (1994) encontraron mayores rendimientos a la sombra, donde y alcanzaron 2512 kg há⁻¹ rotación⁻¹ **vs** 2347 kg há⁻¹ rotación⁻¹ a pleno sol; en el caso del ensayo con **C. nlemfuensis** no se encontró diferencia estadística en cuanto al rendimiento, y la composición química, pero sí en el por ciento de hojas a favor de la sombra ($p < 0,01$) y mayor material muerto ($p < 0,05$)

en el sol. En el caso de la combinación de pastos se encontró una superioridad significativa de los rendimientos al sol con 2622 kg há⁻¹ vs 2323 kg há⁻¹ en la sombra, encontrándose mayor por ciento de tallos ($p < 0,05$) al sol; la fibra bruta fue mayor a la sombra que al sol.

Ruiz, Febles, Díaz, Hernández y Díaz (1994) y Ruiz y Febles, (1999) al medir el efecto de la sombra de ***L. leucocephala cv Perú*** en los indicadores del comportamiento del pasto estrella fertilizada con 90 kg de N/há o sin fertilizar, obtuvieron que el rendimiento fue mayor en la sombra que a pleno sol (fertilizada o no); además, no se detectó presencia de malezas cuando hubo sombra y el por ciento de este indicador fue mayor en el tratamiento sin sombra y no fertilizada; de igual forma el material muerto fue menor en la sombra (13,3 %) y mayor (35,0 %) en la ausencia de sombra y fertilización. También hubo correspondencia a favor de la sombra en el indicador por ciento de hojas, y hubo más deposición de excretas por los animales cuando existió sombra en el área de pastoreo. Ello coincide con lo informado por Ruiz ***et al.*** (1999), Botero (1993) y Botero ***et al.***, (1999) quienes plantearon que el reciclaje de nutrimentos minerales, como parte de la sostenibilidad del sistema, es mayor a través de las heces de los animales en los sistemas silvopastoriles que en las pasturas tradicionales sin árboles, arbustos o hierbas leguminosas. En este sentido estos autores reportaron un 58 % de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en silvopastoreo y un 33 % en gramíneas en monocultivo; además Ruiz ***et al.*** (1999) reportaron la presencia de aves de diferentes especies en el área cuando existió sombra en el pastoreo. Mahecha, ***et al.*** (1999) y Mahecha, ***et al.*** (1998) , indicaron que los aportes de materia orgánica (correspondientes a las podas, las excretas, la hojarasca y los residuos del pastoreo) de las asociaciones de pasto estrella + leucaena + algarrobo y estrella + algarrobo fueron mayores (149,4 y 137 t ha⁻¹ año⁻¹) que en el monocultivo (26,5 t há⁻¹ año⁻¹), lo que implicó un mayor reciclaje de minerales al suelo (1518 y 1301 kg ha⁻¹ año⁻¹ vs 913 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente). Los elementos que mayor reciclaje presentaron en estos sistemas fueron el N, Ca, P y Mg. Fajardo, Bustamante, Fernández, Cumba y Rodríguez (1997) al comparar el aporte de nutrientes al suelo de las especies ***L. leucocephala*** y ***G. sepium*** reportaron un mayor reciclaje de nutrientes, principalmente del nitrógeno y el fósforo. Esto muestra la ventaja que representa el manejo de gramíneas acompañadas con árboles y/o arbustos

leguminosos, ya que una fracción representativa de los nutrientes extraídos de la solución edáfica son retornados mediante la hojarasca y los residuos del pastoreo o las podas sobre la superficie, esto repercute en una mayor producción y calidad nutritiva del forraje de la gramínea, así como en una mayor disponibilidad de material forrajero total consumible en el sistema. Esta gran cantidad de hojarasca que se deposita en el suelo como camada, tiene un efecto aleloquímico que permite controlar las especies de agentes indeseables que puedan causar daños a las plantas asociadas (Rizvi, Tahir, Rizvi, Kohli y Ansari 1999).

En los sistemas ganaderos donde se ha implantado el silvopastoreo, se establecen una serie de interrelaciones entre los diferentes componentes; estas interrelaciones a menudo, están determinadas por la influencia del componente arbóreo sobre los otros componentes y/o sobre todo el sistema y se expresan en términos cuantificables, como cambios en la fertilidad del suelo, modificación del microclima, disponibilidad y utilización de recursos (agua, nutrientes, luz) incidencia de plagas y enfermedades y alelopatía (Rao, Nair y Ong, 1997).

Ruiz, **et al** (1998) al analizar la composición botánica del pasto estrella durante dos años encontraron que en la zona de sombra alcanzó valores de 86 – 90 %, mientras que a pleno sol 63 % y a los cinco años se mantenía la mejor situación para las áreas que recibieron sombra.

La interacción entre los árboles y la pasturas es complejo en lo referente al uso del agua, dado que los árboles constituyen un factor de consumo y al mismo tiempo de ahorro de agua (Hernández, **et al.** 1994). Este factor se hace más limitante en los pastos tropicales, ya que la mayoría están sometidos a estrés por escasez de agua en alguna época del año, fenómeno que afecta su potencial de producción, por causas propias de la planta o de índole externo como el clima o el suelo (Hernández, **et al.** 1994).

Los criterios en este sentido, para regiones del trópico seco, no han sido esclarecidos; no obstante, en las condiciones de Cuba, con un prolongado período poco lluvioso, en potreros donde prevalecen plantas como ***L. leucocephala*** se ha apreciado que al estar asociada con ***P. maximum* cv. Likoni**, esta última está menos afectada a causa de la competencia por el agua; incluso, si se compara este sistema con otros pastoreos

aledaños donde prevalecen las gramíneas como cultivo puro, el primero presenta un mayor verdor y disponibilidad de hojas (Hernández, **et al.** 1994). Igual observación realizó Vanegan (1971), el cual durante el período seco en Colombia, en pasturas de **P. clandestinum** no reportó síntomas de deficiencia de agua bajo plantaciones de **Alnus**, situación que si se presentó en las pasturas fuera de la plantación. Según NAC (1997a) y NAC (1997b) el crecimiento de los forrajes bajo la sombra con bajo viento, tiende a una maduración más lenta y por tanto son bajos en fibras y más digestibles que cuando crecen en áreas abiertas. En este sentido Simón, **et al.** (1998) plantearon que los árboles que producen sombra reducen el efecto de las altas temperaturas, mejoran y conservan por más tiempo la humedad del suelo, propician el crecimiento de la vegetación acompañante, facilitando esto que la hierba permanezca verde por 3 o 4 semanas después de las lluvias (debido a la reducción del potencial de evapotranspiración) y la capacidad fotosintética es 4 – 5 veces superior que cuando las gramíneas se encuentran a pleno sol (Febles **et al.** 1996). Así Bolívar **et al.**, (1999) reportaron que el contenido de humedad del suelo fue mayor en los SSP que en el monocultivo de **B. humidicola**, siendo la diferencia más marcada en la época seca (19,5 vs. 15,8 %), comparada con la época lluviosa (28,6 vs. 26,2), lo que concuerda con los resultados obtenidos en otros estudios (Belsky, 1992). Esto es importante, especialmente en la época seca, ya que puede favorecer la disolución de los minerales en el suelo y consecuentemente su absorción por el pasto. En ambientes semiáridos y tropicales subhúmedos el bajo contenido de humedad de los suelos puede restringir fuertemente la tasa de descomposición de la materia orgánica y la del N (Godwin y Jones, 1991); sin embargo, la sombra estimula la liberación de N, como consecuencia de una mayor mineralización con relación a la inmovilización de N en el suelo (Wilson **et al.**, 1986; Wilson, 1996). Wilson (1996) encontró un efecto positivo de la sombra artificial sobre los contenidos de nitratos y amonio en dos tipos diferentes de suelos (arcilloso fértil y arenoso infértil); además afirmó, que la respuesta a la sombra por las gramíneas es mayor en períodos de alta precipitación, ya que las plantas al estar con menos estrés por agua, aprovechan mejor la mayor disponibilidad de N que hay bajo ambientes sombreados.

1.3.2 Suelo:

Durán, (1996) al realizar una revisión sobre el manejo ecológico de los suelos tropicales, señala que la temperatura siempre se mantiene elevada en los trópicos y por lo general, los promedios diarios están por encima de los 20° C, a lo que se une una alta radiación solar, elemento que ejerce una gran acción degradativa natural sobre los suelos, que se incrementa cuando estos permanecen descubiertos por falta de una cobertura viva o muerta; en estos casos la temperatura puede elevarse en los suelos a más de 55° C, lo que unido a la influencia directa de los rayos solares, y las lluvias producen efectos degradativos en el suelo (Durán 1996). Este autor además señala que el arborizado es una de la forma de realizar un manejo ecológico de los suelos para minimizar los daños; mediante la hojarasca que cubre el suelo de mulch (Wildin., 1986), y de esta forma se produce una suplementación regular de materia orgánica, se incrementa la actividad biótica del suelo (Altieri., 1996), y disminuye el impacto de las gotas de lluvias (Fuentes y Marrero, 1996, Simón **et al** 1998), lo que evita la destrucción de los agregados y la compactación, beneficiando la capacidad de infiltración, la capacidad de retención del agua y la restauración y conservación de los micro y macroorganismos del suelo (NRCS/RCA, 1997; Pound, 1999; Kozlowski, 1999 y Simón **et al**. 1998). Estos últimos autores plantearon que la compactación induce cambios en el balance de las hormonas de las plantas en crecimiento (especialmente incrementa el ácido abscisico y el etileno), decrece la actividad fotosintética como resultado de una pequeña área foliar e inhibición de los estomas. La caída natural de las hojas y las podas ayudan a incrementar la disponibilidad de agua, de luz y de nutrimentos para todos los componentes del sistema. Sharma, Singh, Tyagi y Mohan **et al** (1998b) encontraron iguales resultados cuando incorporaron al suelo diferentes niveles de hojas de *L. leucocephala*. La selección apropiada de especies y las podas selectivas (en cuanto a espacio e intervalos de tiempo entre cortes) contribuyen a reducir la competencia entre los componentes en agrosilvopasturas (Botero **et al**. 1999); estos autores reportan que los árboles y arbustos pueden mejorar las condiciones físicas del suelo (porosidad y densidad aparente), además su efecto de descompactación es positivo y relevante en áreas degradadas a causa de la compactación del suelo, ocasionada por la mecanización y/o por el pisoteo continuo del ganado, que depende

del número de animales por unidad de área (carga animal), de su edad y del tipo de suelo (Daniel **et al.** 1999); un caso común son las pasturas abandonadas en el trópico húmedo.

Siavosh **et al** (1999) al comparar algunas variables físicas del suelo encontraron que los valores de la porosidad (%) y la compactación (kgf cm^{-2}), medida a los 5 y 10 cm fueron: 43 %, 1,8 y 1,4 (kgf cm^{-2}) para el banco de nacedero; 39,8 %, 1,9 y 1,6 (kgf cm^{-2}) para el banco mixto y 32 %, 2,2 y 2 (kgf cm^{-2}) para el potrero, observándose que la mayor compactación y la menor cantidad de espacios porosos se encontraron en el potrero, también en la evaluación de las variables biológicas, la macrofauna fue menor en esta área.

La compactación debido al tránsito de los animales y principalmente en las áreas no arborizadas causa una disminución en la cantidad de macroporos, reduciendo la infiltración de agua y el crecimiento radical, y aumenta la actividad de los microorganismos desnitrificadores, y por ende reduce la disponibilidad de nitrógeno. El resultado neto de todo esto es el efecto adverso en el crecimiento de los árboles, lo que dificulta el establecimiento de los sistemas agrosilvopastoriles (Bezkorowajnyj, Gordon y McBride, 1993, Daniel **et al.** 1999 y Siavosh **et al.** 1999). El arroje al suelo, propiciado por la hojarasca de los árboles, impide la acción directa de los rayos solares, así como el sobrecalentamiento excesivo del suelo y los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche, ya que un suelo cubierto se calentará menos por el día y se enfriará menos por la noche; esta característica, unida al mejoramiento de las propiedades físicas y la disminución de la evaporación, hacen que el suelo se mantenga húmedo por un tiempo mayor, lo que le permite a la planta aprovechar más eficientemente el agua y mejorar la absorción de los nutrientes (Fuentes, **et al** 1996). Sharma y Parmar **et al** (1998a) al utilizar mulch sobre un suelo Alfisol encontraron que hubo un aumento de los rendimientos del cultivo debido a un incremento del fósforo y de su utilización.

Una característica de los árboles fijadores de nitrógeno (AFN) es la de fijar nitrógeno (N) atmosférico en sus nódulos radicales y, a través del metabolismo, almacenarlo en sus componentes forrajeros (hojas, peciolo, tallos tiernos y frutos) en forma de proteína cruda ($\text{N} \times 6,25$), cuyo contenido varía entre 10 a 35 % (Botero **et al.** 1999), incrementando el nivel de nitrógeno en el suelo; además, sus raíces pueden absorber

nutrientes de las capas profundas del suelo y traerlos a la superficie, haciéndolos disponibles para la pastura o para el cultivo agrícola asociado (Fasbender, 1993 y Siavosh, **et al.** 1999). En algunos casos, pueden incrementar la disponibilidad de fósforo (simbiosis con micorrizas), calcio, potasio y magnesio, lo que contribuye al mejoramiento de las condiciones químicas, y físicas del suelo (Siavosh, **et al.** 1999); de estos elementos el fósforo y el potasio mejoran la eficiencia de utilización del nitrógeno (Paretas 1981).

Según Paretas (1981) el nitrógeno eleva el contenido proteico de los pastos, ya que es un componente de las proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares, además de ser responsable de incrementar los rendimientos de los cultivos (González, 1996) lo cual tiene una importancia fundamental, tanto desde el punto de vista vegetal, por ayudar a su desarrollo y crecimiento, como desde el punto de vista animal, ya que con un pasto de un porcentaje de proteína bruta menor de 7 el consumo se ve afectado (Paretas, 1981).

Según Murgueitio **et al.** (1999), el aporte de hojarasca de **G. sepium**, fue suficiente para mejorar las características del suelo, conservándose el nitrógeno producto de la asociación simbiótica de **Gliricidia** con el **Rhizobium** (bacteria fijadora de nitrógeno), lo que coincide con los estudios realizados por Rhoades, Nissen, y Ketter (1998) pero con **Albizia julibrissing**, que encontraron un rápido incremento de las disponibilidades de nitrógeno en un suelo ultisol, además de una rápida mineralización del nitrógeno incorporado por la hojarasca, destacándose el aumento del fósforo disponible (133 a 154 ppm), el calcio y el magnesio en un sistema que exporta grandes cantidades de biomasa (Murgueitio **et al.**, 1999).

1.4 Los macroorganismo como índice de la calidad del suelo.

Según Sánchez (1994), un principio básico de la sostenibilidad es el retorno de los nutrientes extraídos del sistema, su aprovechamiento y la potenciación de la actividad biológica del suelo, debido al papel que esta desempeña al facilitar los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes (Lavelle, **et al.** 1994). Sin embargo, durante años la actividad benéfica de los organismos que habitan el suelo se ha visto drásticamente afectada por la acumulación de ciertas sustancias tóxicas que inducen al

envenenamiento de la fauna presente (Febles, **et al.** 1995) y por la aplicación indiscriminada de numerosos plaguicidas sistémicos, los cuales inciden en el comportamiento de algunas especies entre ellas las lombrices, que son las responsables, en gran medida, de la descomposición inicial del follaje muerto (Nivia, 1994).

Mediante el silvopastoreo el ganadero puede contar con un sistema de producción menos dependiente de los fertilizantes, donde se desarrollan varios estratos vegetativos verticales: uno constituido por las leguminosas herbáceas y las gramíneas que crecen más próximas al suelo, otro por los rebrotes producto de la poda, y un tercer estrato aéreo formado por la copa de los árboles que además de brindar sombra representa una reserva de follaje que cae continuamente al suelo (Simón, 1998), principalmente en el segundo trimestre del invierno (marzo, abril y mayo) (Simón; 1998).

Una menor compactación y grado de descomposición de la hojarasca recién caída, influye en la abundancia y diversidad de la fauna edáfica asociada a la superficie del suelo (Prieto y Rodríguez 1996); en estas condiciones la fauna del suelo participa en la mineralización de la materia orgánica y su redistribución, además, al aumentar el contenido de humus en el suelo mejora su estructura y disminuye la erosión (Díaz, Gonzales, y Esquivel, 1996).

El humus es el alimento de los microorganismos del suelo, estos a su vez, facilitan una buena estructura y fertilidad, ayudando a fijar los nutrientes en el suelo, si no existe suficiente humus (alrededor del 3 % en las regiones tropicales) los nutrientes que regresan al suelo en forma de composta podrían escurrirse (Jeavons, 1996).

Las raíces de las plantas, los hongos y la fauna son importantes constituyentes ecológicos del suelo, los que tienen una influencia sustancial en la dinámica del carbono y el reciclaje de nutrientes (Hu, Coleman, Hendrix y Beare, 1996), además la fauna edáfica influye en la salud de las raíces de las plantas, pues reduce las afectaciones por ***Rhizoctonia solani Kuhn*** (Stephens, Davoren, Ryder y Double, 1995).

EL 90 % de la descomposición del carbono es asumida por los microorganismos tales como bacterias y hongos, y se facilita por los animales como ácaros, ciempiés (miriápodos), lombrices y hormigas que desmenuzan los residuos y dispersan los propágulos (Kolmans y Vásquez, 1996 y Brussaard. 1997), y las semillas (Morales y

Heithaus, 1998); estos dos últimos individuos junto con las termitas modulan directa o indirectamente la disponibilidad de fuentes (como espacio físico y alimentos) para otras especies, y causan cambios en el estado físico del suelo (Kolmans *et al.* 1996 y Brussaard, *et al.* 1997). Estos organismos son llamados descomponedores y bioturbadores que junto con las raíces de las plantas y otras macrofaunas del suelo crean canales, poros, (cuyo tamaño esta en dependencia, del tamaño del organismo del suelo) agregados y montículos de tierra que influyen profundamente en el transporte de gases y de agua en el suelo, (Brussaard, *et al.* 1997), mejorando la estructura (Laakso y Setälä, 1998); ellos crean o modifican los microhabitats para otros pequeños organismos del suelo, son esenciales para mantener la estructura de los suelos dedicados a la agricultura y forestales, además en el caso de las hormigas (negras) pueden constituir un freno a determinadas plagas (Khay *et al.* 1991).

Según Cairo *et al.* (1994) la mayoría del humus presente en el suelo representa los productos metabólicos de animales pequeños como lombrices, arañas, nemátodos, mil pies, insectos y muchos otros que tienden a mejorar la porosidad; en aquellas tierras donde la actividad biológica es intensa se observa con frecuencia, junto a las huellas del recorrido de los gusanos de tierra, gran número de canículos finos que resultan del trabajo de pequeños insectos haciendo que su porosidad sea tubular y la estructura esponjosa. En estos suelos se encuentran presente al mismo tiempo el aire y el agua, por lo que ocurren simultáneamente los procesos anaerobios y aerobios; estos suelos son elásticos y permiten la penetración de las raíces las cuales contribuyen a mantener un buen estado de estructuración.

Los insectos en el ámbito de género, familia y especie, tienen un hábitat muy específico; a menudo están asociados con especies de plantas muy particulares y/o tipos de suelos muy específicos, otros grupos meramente usan el suelo como sustrato para algunas fases de su ciclo de vida. La humedad del estrato de la hojarasca recién caída está estrechamente relacionada con las poblaciones de colémbolos (Burgess-Raw 1971 y Prieto, *et al.* 1996), los que son capaces de comer hojas frescas sin el acondicionamiento previo de los microorganismos; aunque las hojas que son atacadas por los microorganismos son comidas más fácilmente, también tienen preferencia por

las hojas en estado de putrefacción (Burgess-Raw 1971), además según este autor, los colémbolos contribuyen a la formación de suelo de la siguiente forma.

- Extraen materiales que son ingeridos hasta el intestino.
- Producen heces fecales que son añadidas al suelo; las colémbolas contienen en sus intestinos una variedad de materiales que pueden ser un factor importante que los hace asequible a otros agentes descompositores, son formadores de humus y desempeñan un papel importante en la diseminación de los hongos.

Faber y Verhoef (1991) y Brussaard, **et al.** (1997), al introducir una o tres especies de colémbola, en la hojarasca de *Pinus nigra* previamente defaunada, obtuvieron una mayor cantidad de nitrato mineralizado en el suelo que cuando una de las otras dos especies fueron introducidas; la reintroducción de toda la fauna mostró un efecto significativo, el cual sin embargo fue menor que en el caso de las tres collembolas.

Crespo y Fraga (1998) obtuvieron los mayores valores en cuanto al número de individuos y su biomasa en la época de lluvia ya que el porcentaje de humedad presente en el suelo influye directamente en la fauna que habita en las capas superficiales, resultados similares obtuvieron Subler y Kirsch (1998) y Rodríguez **et al.** (1998) quienes encontraron a las lombrices y las larvas de coleópteros como los individuos de mayor diversidad, al igual que Crespo **et al.** (1998) y Milera **et al.** (1996) en suelo Ferralítico Rojo. Sin embargo, Martínez y Rodríguez (1991) encontraron cantidades bajas de lombrices en el mes de junio lo que pudiera deberse a la escasez de precipitaciones en los dos meses anteriores a los muestreos (abril y mayo).

Las variables ambientales pueden afectar grandemente la actividad y número de lombrices en el suelo (Tian, 1997) por lo cual es importante tomar en cuenta la biomasa de lombrices como un indicador más de calidad de suelo. La abundancia de lombrices se puede jerarquizar de la siguiente forma: la temperatura como punto superior jerárquico, luego factores edáficos (textura del suelo, materia orgánica, nutrientes y calidad de la hojarasca) y por último factores estacionales (lluvia, sequía, temperatura y humedad (Lavelle citado por Martínez **et al.** (1991), (Fragoso y Lavelle ,1992; Abbott y Parker (1980); Edwards y Lofty, (1980); Esquivel, (1999), Socarrás (1998) y Kolmans **et al** (1996).

Los coleópteros, independientemente de ser descomponedores y depredadores participan activamente en la descomposición e incorporación de la materia orgánica al suelo junto con oligochaeta (Subler *et al* 1998) y diplópodos, contribuyeron a aumentar la productividad del ecosistema, además de ser unos de los principales componentes de la población de arthropodos de la hojarasca, de la superficie del suelo y del subsuelo, en ecosistemas forestales (Gonzáles, citado por Sierra, *et al.* 1996). Sierra *et al.* (1997) señalaron que el número de invertebrados (anélidos) en el suelo depende del desarrollo del humus, siendo el estrato de 0 – 10 cm donde se acumula mayor contenido de materia orgánica y biomasa y donde estos organismos depositan sus huevos en el suelo alrededor de sus raíces. Ello concuerda con lo informado por Martínez *et al.* (1991) que además plantearon que la textura del suelo es más granular, predominando en este estrato la mayor cantidad de adultos, lo que favorece las características ecológicas de las lombrices, pues los grupos que se hallaron en diferentes ecosistemas de la Sierra del Rosario son básicamente extraminívoros (habitan los primeros centímetros del suelo) y detritívoros cuyo nivel trófico y actividad están en íntima interacción con la capa de hojarasca por su alto contenido energético; mientras que en el pastizal las especies detritívoras son desplazadas por especies rizófagas, ya que la capa de hojarasca está casi ausente, y por especies geófagas que viven más profundamente en el suelo con requerimientos más bajos, además de presentar especies extraminívoras, las que pueden sufrir notables variaciones principalmente por variables agro meteorológicas Martínez *et al.* (1991), y Burges-Raw (1971).

1.4.1 Anélidos Como Mejoradores del Suelo:

Según Kolmans *et al.* (1996) los anélidos mediante su metabolismo y trabajo digestivo mejoran la estructura del suelo, la capacidad de retención de la humedad y cuando construyen sus galerías, remueven el suelo y mezclan verticalmente las sustancias orgánicas de la capa arable; estas galerías contienen más agregados estables en el agua que en el suelo de sus alrededores, condición que es originada por las poblaciones microbianas que se desarrollan en las heces del intestino o en los agujeros, principalmente con el desarrollo de las hifas de hongos después de la defecación (Burges-Raw, 1971); de esta manera se impide el hundimiento de las oquedades y se

mantienen los sistemas de cavidades capilares por las que pueden circular el aire y el agua (Kuhnelt, 1957). Las lombrices perforan galerías en todas direcciones y en esta acción segregan una mucosa que da firmeza a las paredes de las mismas (Cabrera, 1988 y Kolmans *et al.*, 1996), mejoran la circulación del aire y el agua, almacenan sus deyecciones en la superficie del suelo, a la entrada de las galerías, en cantidades que fluctúan entre 10-90t ha⁻¹ año⁻¹, las que contienen gran cantidad de microorganismos, y de tres a once veces el nivel de fósforo, potasio y magnesio disponible en el suelo, elevan de cinco a diez veces el nivel de nitratos y de calcio disminuyendo la acidez de la tierra, lo que se debe a la desaparición rápida del amonio (NH₄⁺) igual que los nitritos (NO₂⁻), mientras que los nitratos aumentan de forma paralela, transforman el humus moor en humus mull. Al aumentar el número de lombrices se eleva la capacidad productiva del suelo (Burgess-Raw, 1971, Kolmans *et al.* 1996 y Bernier, N. 1998), así como incrementa la cantidad de nitrógeno inorgánico (principalmente NH₄⁺) de la materia orgánica en comparación con los suelos con poca densidad de lombrices (Cortez, Billes, y Bouche, 2000). Según Cabrera, (1988) el material nitrogenado no aprovechable por las plantas es convertido en proteína de lombriz y en el verano (producto de las altas temperaturas) los adultos mueren, transformándose por la acción microbial, liberan grandes cantidades de nitrógeno (70 %) y otros nutrientes que son presentados en forma viablemente rápida para las plantas.

Graham, Ervin y Wood, (1995) llevaron a cabo un experimento durante cuatro décadas en un suelo con cultivo de cebada y pinos y encontraron que tanto en uno como en el otro hubo un aumento de los agregados estables, del carbono orgánico y en las raicillas contenían abundantes hifas, producto de la acción de las lombrices.

1.4.2 Arthropodos Como Mejoradores del Suelo.

La fauna de las praderas tropicales, en comparación con la de los bosques tropicales es más pobre, también el cultivo disminuye considerablemente la diversidad y abundancia de la fauna de arthropodos del suelo (Burgess-Raw 1971). Estos tienden a formar agregados en el suelo; producto de una bacteria (*Bacillus* sp.) que presentan los Arthropodos mayores en el intestino, estos pueden descomponer la quitina.

1.4.2.1 Quilópodos:

Predominantemente son especies de bosques, aunque pueden encontrarse en praderas y tierras arables, los ciempiés geofilomorfos tienen la capacidad de hacer agujeros a algunas profundidades del suelo, formando parte de la verdadera fauna hipogea, mientras que los litobimorfos tienden a estar restringidos a nichos resguardados en la superficie del suelo, ya sean piedras, cortezas, etc.

1.4.2.2 Diplópodos:

Predominantemente son especies de bosques, aunque pueden encontrarse en praderas y tierras arables. Los mil pies pueden encontrarse en la superficie del mantillo y del suelo, en niveles subcorticales de los troncos de los árboles, en las piedras y las maderas podridas; tienden a ser abundantes en tierras calcáreas, son exclusivamente vegetarianos y comen residuos vegetales en diversos estados de descomposición, dependiendo principalmente del contenido de calcio de las hojas. Cerca del 50 % del material ingerido (hojas secas) es utilizado por los mil pies observándose una considerable humificación en el recto.

Muchos Miriápodos comen grandes cantidades de hojas de poco valor nutritivo y excretan la mayoría de ellas relativamente sin ningún cambio químico, pero muy fragmentadas y por ello fácilmente aprovechable por los microorganismos (Burges-Raw 1971).

1.4.2.3 Coleópteros:

Predominan sobre o en el suelo como depredadores o asociado con la materia animal o vegetal en descomposición (Burges-Raw 1971), no profundizan mucho en el suelo y disminuyen rápidamente a partir de los 10 centímetros (Kuhnelt 1957), lo cual concuerda con lo informado por Sierra, *et al.* (1997).

Coleópteros depredadores: Aquí se agrupan una serie de especies que se alimentan de otras especies o sus larvas y pupas, otras consumen caracoles y babosas, insectos lignícolas y saprófagos, estos pueden ser biocontroladores.

Coleópteros descomponedores de la carroña: Especies adultas que son fácilmente atraídas por el olor de la carroña enterrándola al excavar en la tierra.

Coleópteros descomponedores del material vegetal: Una gran cantidad de estos insectos se alimentan del material vegetal fresco o descompuesto sobre o en el suelo,

pueden comer madera podrida, estiércol, o asociarse con sus madrigueras a esta, pudiendo algunas especies fabricar pelotas de estiércol, que la trasladan a cámaras subterráneas para que sirvan de alimento a sus larvas u otros individuos; estos coleópteros se denominan coprófilos, y al enterrar el estiércol promueven su descomposición (Burges-Raw 1971).

1.4.2.4 Dípteros:

Se asemejan a los coleópteros en la variedad de especies asociados al suelo y en sus costumbres alimenticias, pueden ser depredadores, necrófagos, coprófagos, saprófagos y fitófagos (Burges-Raw 1971).

1.4.2.5 Ácaros:

La distribución de sus especies varia con la profundidad del suelo, los ácaros del suelo como costumbres alimenticias pueden ser carnívoros (depredadores) y herbívoros descompositores que actúan sobre los detritus vegetales, madera, hongos y algas (Burges-Raw 1971).

1.4.2.6 Colémbolos:

Se alimentan de material vegetal putrefacto, micelios de hongos, esporas, pupas de Dípteros, otros Colémbolos, partes de las lombrices de tierra en estado de putrefacción y sus propias cutículas y humus (Burges-Raw 1971).

1.4.2.7 Phylum Mollusca

Son sensibles a las condiciones ambientales, se hacen activos después de las lluvias, encontrándose sobre todo en suelos con pH alto, con mucho calcio disponible.

El alimento de los gasterópodos terrestres incluye todas las categorías de material comestible, comen algas y líquenes de la superficie de los árboles y madera en putrefacción, otros se alimentan de plantas muertas o putrefactas, de hojas secas caídas, de otros caracoles, carroña, lombrices de tierra y gusanos.

Son importantes en la descomposición de los restos vegetales y afectan a la estructura al pasar tierra a través de sus intestinos, lo cual a su vez influye en la aereación y capacidad de retención de agua del suelo. Los caracoles y babosas no solo producen heces que contienen una elevada proporción de materia orgánica parcialmente digerida, sino que segregan mucus cuando se desplazan, que son fuente importante de mucoides agregantes; directa o indirectamente construyen hábitats apropiados para la multiplicación de bacterias y actinomicetos (Burges-Raw 1971).

2.0 Materiales y Métodos.

2.1 Ubicación y descripción de las zonas de estudio.

El experimento se desarrolló en las áreas de pastoreo de la vaquería “El Mamey”, la cual se encuentra ubicada a 100 msnm, perteneciente al Instituto Politécnico Agropecuario “Victoria de Santa Clara”.

Las áreas experimentales se ubicaron en las siguientes zonas.

Zona A₁: Área que se encuentra establecida con árboles de tres años de edad, específicamente ***Leucaena leucocephala cv Perú***, la cual fue sembrada en septiembre de 1996, a una distancia entre surcos de 4 m y a chorrillo, ésta está compuesta por pastos naturales específicamente ***Cynodon nlemfuensis***, ***Paspalum notatum*** y ***Dichanthium annulatum (Andropogon annulatum Forsk.)***.

Zona A₂: Área que se encuentra establecida con árboles de ocho años específicamente ***L. Leucocephala cv Perú***, la cual fue sembrada en junio de 1991 a una distancia de 3,50 m entre surcos y 0,30 m entre plantas, los pastos que se encuentran asociados de forma natural son ***Paspalum notatum***, ***Cynodon dactylon cv común*** y ***Cynodon nlemfuensis***.

Zona A₃: Área que se encuentra desprovista de árboles y presenta los siguientes pastos naturales ***Cynodon nlemfuensis***, ***Dichanthium annulatum (Andropogon annulatum Forsk.)*** y ***Panicum maximun cv común***

2.2 Características del suelo.

A₁, A₂ y A₃: El suelo de éstas zonas se clasifica como:

- Pardo con carbonatos (1975, citado por Cairo ***et al*** 1994).
- Orthi-Calcaric Cambisol (FAO/Unesco 1988).
- Typic Eutropept, clayey, montmorillonitic(calc.), isohyperthermic (USDA/SCS SOIL TAXONOMY, 1992).
- Agrupamiento Pardo Sialítico, tipo pardo, subtipo cálcico, (Jiménez, Jiménez, Infante y col, 1994); categoría 5, típico, con roca caliza suave, medianamente profundo, humificado y moderadamente pedregoso, con presencia de arcillas, profundidad efectiva de 45 cm y ligeramente ondulado.

El suelo de cada una de estas zonas se encuentra cubierto por pastos naturales, el muestreo se realizó sobre 1há de cada una de estas áreas, las que se encontraban bajo sistema de pastoreo rotacional con una intensidad de 244,8 UGM há⁻¹ día⁻¹.

Las zonas A₁ y A₂ se encuentran bajo sistema silvopastoril con la *Leucaena leucocephala* cv Perú.

2.3 Mediciones

Los muestreos se realizaron en los meses de:

Octubre de 1999, correspondiente al final del período lluvioso.

Marzo del 2000, correspondiente al final del período poco lluvioso.

Junio del 2000, correspondiente al período lluvioso.

2.3.1 Análisis químico del suelo.

En cada una de las zonas de estudio se tomaron muestras a las profundidades de 0 – 10 y 10 – 20 cm, y se les determinó.

P₂O₅ y K₂O: Por el método Onianin. Solución extractiva de ácido sulfúrico (0,1 N). Se determinó por fotometría de llama y el P₂O₅ por el método colorimétrico.

Cationes cambiables: Método de Schachtschabel. Solución extractiva NH₄ (CH₃COO) 1 N de pH 7.

Materia orgánica: Método colorimétrico de Wakley y Black. Oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

pH(H₂O) y pH(KCl): Mediante el potenciómetro. Relación suelo : solución 1 : 2,5.

2.3.2 Análisis físico del suelo.

En cada una de las zonas de estudio se tomaron muestras a las profundidades de 0 – 10 y 10 – 20 cm, determinándosele:

Permeabilidad: Se determinó según Henin y col citado por Cairo (2000), donde se calcula el log 10 del coeficiente K para cada muestra utilizando un infiltrómetro según la fórmula:

$$K = \frac{e * V}{H * S}$$

donde:

K = coeficiente de percolación.

e = altura de la columna de suelo

V = volumen en ml de agua percolada en una hora.

H = altura de la columna líquida o lámina de agua.

S = área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar.

Factor de estructura (*FE*): A través de la determinación de arcilla sin dispersar (b) y arcilla previamente dispersada, de acuerdo con el análisis mecánico (a) según la fórmula:

$$FE = \frac{a-b}{a} * 100$$

Vageler y Alten citado por Cairo 2000.

Agregados estables: Este método consiste en echar 5 g de suelo en un erlenmeyer, añadir 200 ml de agua destilada y dejar en reposo 30 minutos. Luego, se somete la solución al golpeteo (40 golpes) durante 20 segundos y se tamiza en un tamiz de 0,2 mm. Lo que se queda en el tamiz son los agregados estables (Método de Henin **et al** Citado por Cairo 2000).

Plasticidad: Mediante en método de los rollitos de Atterberg.

2.3.3 Análisis microbiológico.

Los muestreos de la macrofauna se realizaron de acuerdo a la época determinada, utilizando un marco de 25 x 25 cm separando los individuos manualmente, (Sánchez y Hernández 1997, Sierra y Fernández 1997 y Crespo, Rodríguez, Sánchez y Fraga 1999), inicialmente se colectó la hojarasca presente en la misma, se colocó sobre una manta de color blanco y se procedió a la separación de los individuos, siendo conservados en una solución de alcohol al 70 % (Sierra **et al.** 1997) y clasificándolos taxonómicamente según el Phylum, Clase y Orden (Sánchez **et al.** 1998), en la hojarasca y a las profundidades de 0 a 10 y 10 a 20 cm.

Se siguió el criterio de Switt **et al.** (citados por Hendrix, Crossley y Coleman, 1990) para la colecta, tomando individuos mayores de 2mm para ser considerado macrofauna.

2.3.4 Análisis bromatológico.

La toma de las muestras se realizó teniendo en cuenta la diagonal del campo, donde previamente se colocaron jaulas de protección del pasto al azar para evitar su consumo por el animal tomándose seis muestras de 1kg por cada área de estudio a las que se le determinó, Ca mediante el método de la complexometría, fibra bruta mediante tratamiento de hidrólisis básica y ácida de Henneberg y Stotman, proteína bruta por fotolorimetría, mediante el método de Nessler, fósforo por azul de metileno método colorimétrico y potasio por fotometría de llama (AOAC, 1990).

2.3.5 Determinación de la caída de la hojarasca:

En las zonas A1 y A2 se situaron debajo de la copa de los árboles, al azar, 6 trampas de hojarasca, consistentes en marcos de acero de 0,5 m x 0,5 m, levantados del suelo por 4 patas de 60 cm de altura, cada una. Dentro de cada marco se situó un colector de hojarasca, constituido por un saco de nylon de 40 cm de profundidad. Semanalmente, desde febrero hasta la primera semana de abril (intervalo que se incluye en la época de máxima caída de hojarasca) se pesaron sus componentes, hojas, pedúnculos y ramas. Cada componente fue secado en estufa y sus valores se expresaron en base seca, Crespo, *et al.* (1999).

2.3.6 Análisis foliar de la hojarasca.

Se tomaron las muestras de las trampas, las que eran enviadas al Laboratorio Provincial de Suelos, las que fueron procesadas por las siguientes metodologías:

Nitrógeno: Mediante colorimetría por el método de Nessler.

Fósforo: Por el método colorimétrico de Metavanadato.

Potasio: Por fotometría de llama.

Calcio y Magnesio: Mediante valoración.

2.3.7 Datos climáticos.

Los anexos 1, 2 y 3 muestran las variables climáticas, de los meses octubre, noviembre y diciembre del año 1999 y enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio del 2000, tomadas del Centro Meteorológico Provincial.

2.3.8 Procesamiento estadístico.

En las variables microbiológicas (conteo de la macrofauna) se aplicó de inicio un análisis de varianza multifactorial, donde los factores fueron, la densidad, la edad, las

capas y las épocas, derivándose de los resultados otros modelos más simples con la correspondiente comparación de medias, mediante la prueba de Dunnett's C (prueba aconsejable para las causas de heterogeneidad de varianza por su tendencia no paramétrica).

En la variable hojarasca se comparó en sus dos niveles mediante una prueba t-student, con efecto de covarianza.

En las variables químicas se aplicó de inicio técnicas multivariadas como son las de componentes principales y el MANOVA, y a partir de los resultados de estos, se aplicaron modelos de análisis de varianza multifactoriales univariados, derivándose también de estos en ocasiones la aplicación de análisis de varianza de clasificación simple. Se tuvieron en cuenta los supuestos del análisis de varianza. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Duncan y Dunnett's C.

De igual manera a las variables físicas se le aplicó de inicio un MANOVA y posteriormente modelos de análisis de varianza multifactoriales, así como análisis de varianza de clasificación simple con pruebas de comparación de medias por Duncan y Dunnett's C.

En las variables físicas y químicas se aplicaron también técnicas de regresión lineal y polinomial.

Para los procesamiento estadísticos se empleo fundamentalmente los paquetes SPSS 8,0, y el StatGraphics PLUS2,1 y en ocasiones el paquete STATISTICA 6,1, todos sobre Windows.

3.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de la hojarasca que llega al suelo.

En la tabla 1 se muestran las cantidades de hojarasca depositada al suelo durante nueve semanas pertenecientes a los meses de febrero, marzo y la primera semana de abril, donde la mayor cantidad se deposita en la zona de árboles de tres años (A1) lo que se debió principalmente a la mayor densidad de árboles que existe en esta zona con respecto al área de ocho años (A2); el efecto de la variable densidad no fue significativo cuando se le determinó la covarianza.

Tabla 1. Valores medios de la cantidad de hojarasca que se deposita en el suelo de forma natural.

Zonas de estudio	Hojarasca depositada al suelo (kg há ⁻¹).
A1 (tres años)	229,58 ^a
A2 (ocho años)	125,36 ^b
EE _D (±)	22,78

(a, b): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,000$.

Los árboles pueden aumentar la disponibilidad a través de la descarga de nutrientes de la materia orgánica del suelo y del reciclaje de residuos orgánicos (Murgueitio *et al.*, 1992; Buresh *et al.*, 1998 y Khanna, 1998); de la caída periódica o estacional, natural o provocada (cosecha), de las hojas, las flores, los frutos, las ramas y las raíces muertas (Botero *et al.*, 1999)

Según FACT (1998a) la hojarasca que cae de los árboles leguminosos es rica en nitrógeno, conserva la humedad del suelo y reduce su temperatura; lo que contribuye al mejoramiento del nivel de N en el suelo y en el pasto (Bronstein, 1984; Bustamante, 1991; Belsky, 1992; Carvalho *et al.*, 1994), además de aumentar la porosidad, el contenido del agua gravimétrica, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad de los microorganismos del suelo (Siavosh, 1999), también la hojarasca que se deposita en el suelo como camada, tiene un efecto aleloquímico que permite controlar las especies de agentes indeseables que puedan causar daños a las plantas asociadas (Rizvi *et al.*, 1999).

Las hojas de los AFNs tienen un alto contenido de nitrógeno y otros nutrientes, siendo una fuente barata y renovable de fertilizantes (NFTA, 1989), así la *L. leucocephala* tiene un rendimiento en desechos de hojas de plantaciones sólidas que excedan las 10 t há⁻¹ (secas) hasta con un nivel de 300 kg N há⁻¹ (FACT, 1998b), lo cual hace de ella una fuente importante de este nutriente en el ciclo de nitrógeno de los ecosistemas ganaderos (NFTA, 1989).

En la tabla 2 se muestra la composición química de algunos componentes de *L. leucocephala* que caen al suelo de forma natural, donde el nitrógeno alcanzó el valor de 4,38 %. Según FACT (1997) considera a la *E. poeppigiana* una especie excelente para la producción de abono verde ya que el por ciento de nitrógeno que esta posee oscila entre 4,1 a 4,9 %, este rango donde se incluye el valor obtenido, produce un efecto positivo por el ahorro de fertilizantes (Hernández *et al.*, 1999).

Tabla 2. Composición química de los pedúnculos y hojarasca de Leucaena que caen al suelo.

Componentes de la Leucaena	Elementos Químicos (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Hojarasca	2,94	0,18	0,79	2,0	0,41
Pedúnculos	1,44	0,07	1,18	1,9	1,40
Total	4,38	0,25	1,97	3,9	1,81

Según Velasco, (1998) la mayor cantidad de P y N observadas en el sistema silvopastoril pueden explicarse por el reciclaje que ocurre en el sistema vía hojarasca y raíces, este autor encontró concentraciones de 1,34 % de N y 0,045 % de P, ambas inferiores a los valores que se observa en la tabla 2.

Según Simón *et al.*, (1998) los árboles renuevan su follaje en el segundo trimestre del invierno (marzo, abril y mayo) cuando aumenta el calor y la duración del día sin haber comenzado aún las lluvias; y las trampas para la recolección de la hojarasca se colocaron en este trabajo un mes antes durante 65 días, lo cual en este periodo nos permitió recolectar en el área A1 mayor cantidad de material depuesto que en la zona A2, lo cual se debió principalmente a lo explicado anteriormente, sin embargo en ambos lugares permitió una gran acumulación en la superficie del suelo, creando un mantillo rico en nutrientes, disponibles al ataque de los micro y macroorganismos

descomponedores que habitan en el suelo. Con esta cantidad de hojarasca depositada en el suelo, proliferan los hongos, también generalmente aumentan los ácaros, hormigas y arañas que contribuyen a la limpieza del terreno, eliminando un sin número de animales perjudiciales (Primavesi, 1990).

Tabla 3. Aporte de nutrientes de la hojarasca al suelo por la diferentes áreas (kg há⁻¹) desde febrero hasta la primera semana de abril.

Áreas arborizadas	Nutrientes que se aportan al suelo (kg há ⁻¹)					
	MS	N	P	K	Ca	Mg
A1 (3 años)	1548	67,8	3,87	30,5	60,4	28,0
A2 (8 años)	863,4	37,8	2,15	17,0	33,6	15,6

La hojarasca de las leguminosas se incorporan más rápidamente al suelo que aquellos que se encuentran en las gramíneas ya que según Crespo *et al.* (1996) al evaluar la descomposición de la hojarasca de gramíneas y leguminosas encontraron que las leguminosas demoraron para su total descomposición entre 4 y 6 meses, aportando a los 90 días de incubación el 95 % del potasio y el 70 % del nitrógeno y el fósforo, mientras que en similar tiempo la hojarasca de *C. nlemfuensis* liberó sólo el 40 % de potasio, el 16 % del nitrógeno y el 11 % del fósforo; así Lupwayi *et al.*, (1998) encontraron rápida mineralización de las hojas de sesbania y leucaena. Además según Primavesi (1990) los cultivos asociados con leguminosas mejoran mucho el equilibrio biológico del suelo.

3.2 Estado de la macrofauna bajo las condiciones del experimento.

La hojarasca que cubre el suelo de mulch (Wildin., 1986), produce una suplementación regular de materia orgánica, que incrementa la actividad biótica del suelo (Altieri., 1996) ya que el 90 % de la descomposición del carbono es asumida por los microorganismos tales como bacterias y hongos, y se facilita por los animales como ácaros, ciempiés (miriápodos), lombrices y hormigas que desmenuzan los residuos y dispersan los propágulos (Kolmans *et al.*, 1996 y Brussaard. 1997). De los macroorganismos citados por los anteriores autores, excepto la lombriz, los demás pertenecen al Phylum *Arthropodos*, que como aparece en la tabla 4, fueron los que más veces fueron observadas de forma significativa sobre los anélidos y moluscos, los valores de estos

dos últimos no difirieron entre si, hay que tener en cuenta que los análisis estadísticos ofrecen las diferencias matemáticas entre ambos, pero no lo que sucede en el suelo.

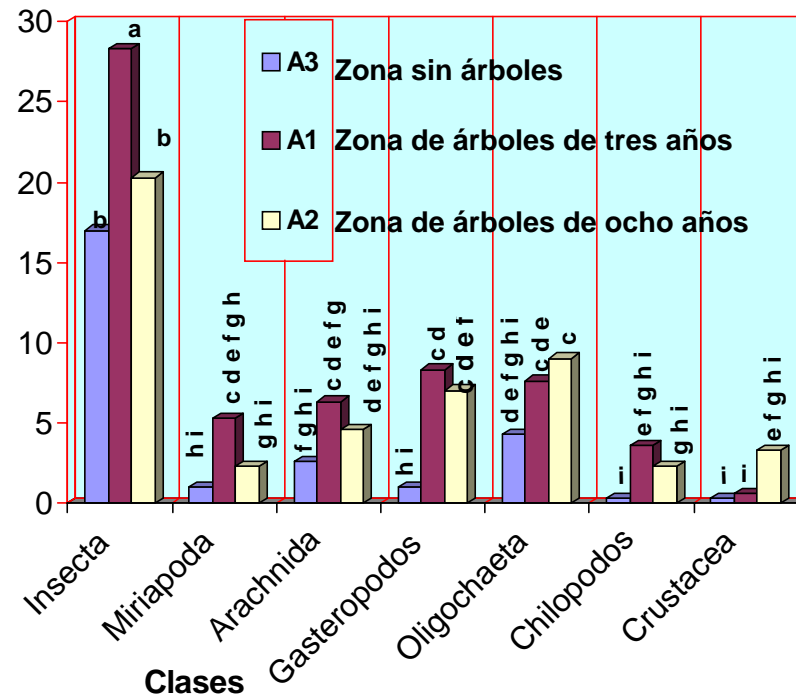
Tabla 4. Promedio de veces en que fueron observados los diferentes Phylum y Clases.

Phylum	Veces Observadas	Clases	Veces Observadas
Arthropodos	1,77 ^a	Insecta	1,21 ^a
		Chilópodos	0,11 ^e
		Miriápodos	0,16 ^{de}
		Arachnida	0,25 ^{cd}
		Crustácea	0,08 ^e
Mollusca	0,29 ^b	Gasterópodo	0,30 ^{bc}
Annelidos	0,37 ^b	Oligochaeta	0,38 ^b
Error estándar	± 0,10	Error estándar	± 0,06

(a,b): medias con superíndices no comunes difieren en una misma columna a $P < 0,05$ por Dunnet's C.

El mayor número de clases que con mayor grado de significación fue vista perteneció a insecta, la cual difirió de oligochaeta y gasterópodo y de las otras clases, todas ellas tienen su importancia en el suelo aunque se denote diferencias estadísticas entre ellas, ya que según Primavesi (1990) la mayoría de la mesofauna y macrofauna del suelo mejoran su calidad, especialmente a lo que respecta a la movilización de nutrientes a través de enzimas o mejorando la estructura y capacidad física del suelo, ya sea revolviendo o cavando, por otra parte Faber *et al.* (1991) y Brussaard, *et al.* (1997), al introducir una o tres especies de collembola, en la hojarasca de ***Pinus nigra*** previamente defaunada, obtuvieron una mayor cantidad de nitrato mineralizado en el suelo que cuando una de las otras dos especies fueron introducidas; la reintroducción de toda la fauna mostró un efecto significativo, el cual sin embargo fue menor que en el caso de las tres collembolas.

Al evaluar la presencia de las diferentes clases en las diferentes zonas de estudio (gráfico 4), los resultados favorecieron significativamente a la clase ***Insecta*** sobre las demás, especialmente en la zona de tres años, y aunque no difirió estadísticamente entre la zona sin árbol y con árboles de ocho años, se observa una tendencia superior en esta última. En la clase ***Oligochaeta*** aún cuando en la zona de árboles de tres años su observación fue mayor no difirió de la zona sin árboles y a su vez las clases:



(a,b,c,d,e,f,g,h,i): Letras no comunes difieren a
 $P < 0.05$ por Dunnett's C. EE = ± 0.063

Gráfico 4. Número de veces en que las diferentes clases fueron observadas por zonas de estudio.

tampoco de la zona de ocho años, no difiriendo ella entre las zonas de tres años con Miriapoda, Arachnida, Gasteropoda y Chilopodos, en la zona de árboles de ocho años no hubo diferencias con: Miriapoda y Arachnida en A1 y con Gasteropoda en A1 y A2.

En el gráfico 5a donde se representa la densidad de cada una de las órdenes por mes de muestreo, se puede observar que octubre mostró las mayores densidades, la biota del suelo, esto se debe a que a este mes le ha antecedido un periodo favorable en cuanto a lluvias, humedad del suelo y temperaturas, donde los más favorecidos estadísticamente fueron los **Hymenopteros** (84,5^a) y **Lumbricide** (41,5^b); en la hojarasca (gráfico 5b) las densidades fueron estadísticamente superiores en **Hymenoptero** (130,6^a; 27,5^b; 24,0^b), **Aranea** (8,0^{bc}; 8,0^{bc}; 12,4^{bc}) para octubre, marzo y junio respectivamente, las otras órdenes su densidad fue menor, no presentándose a esta profundidad **Scolopendromorpha** y **Lumbricide**, en la capa de 0 a 10 cm (gráfico 5c) dominaron con su población

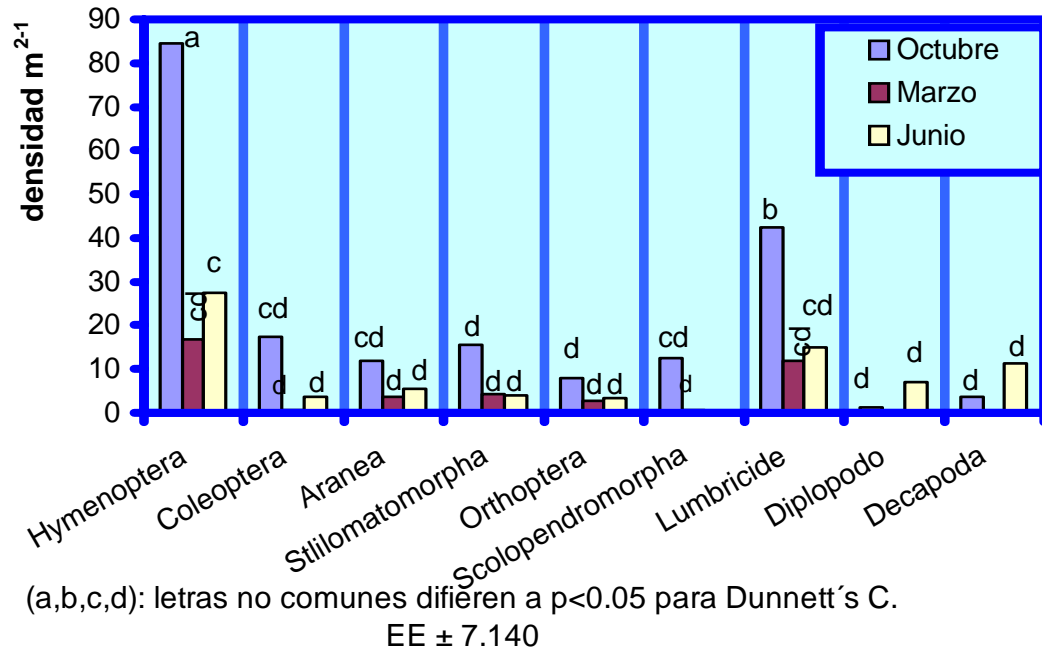


Gráfico 5a. Densidad poblacional de las diferentes órdenes por meses.

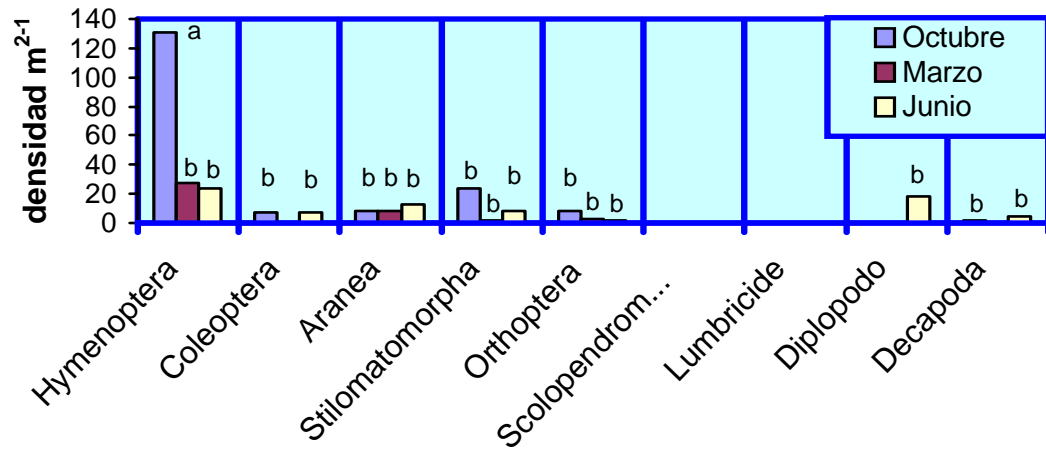
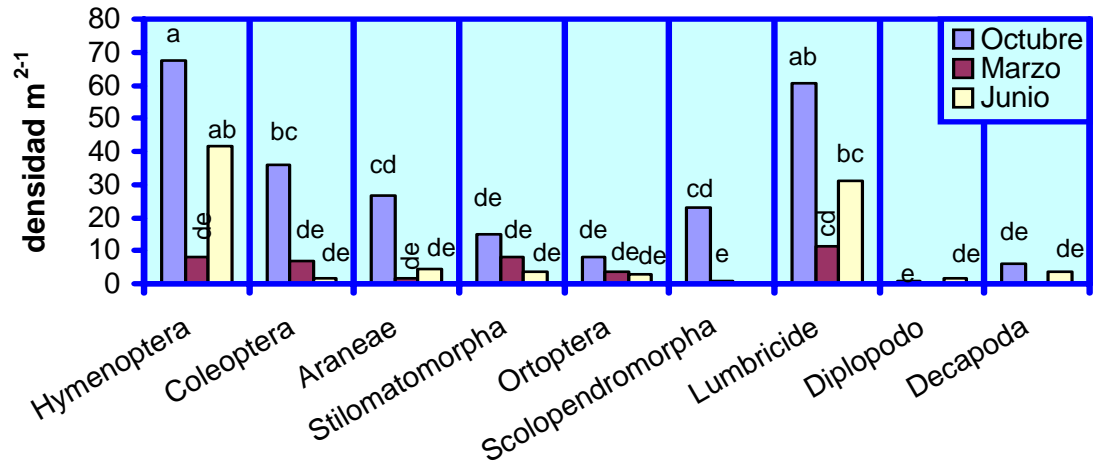
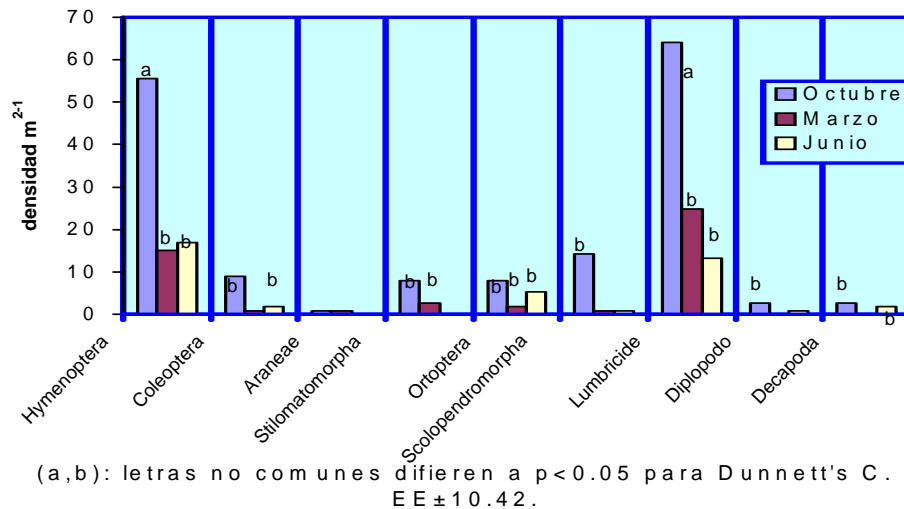


Gráfico 5b. Densidad poblacional de las diferentes órdenes en la horasca por meses.



(a,b,c,d,e): letras no comunes difieren a $p < 0.05$ por Dunnett's C
EE ± 14.33

Gráfico 5c. Densidad poblacional de las diferentes órdenes en la profundidad de 0 a 10 cm por meses.

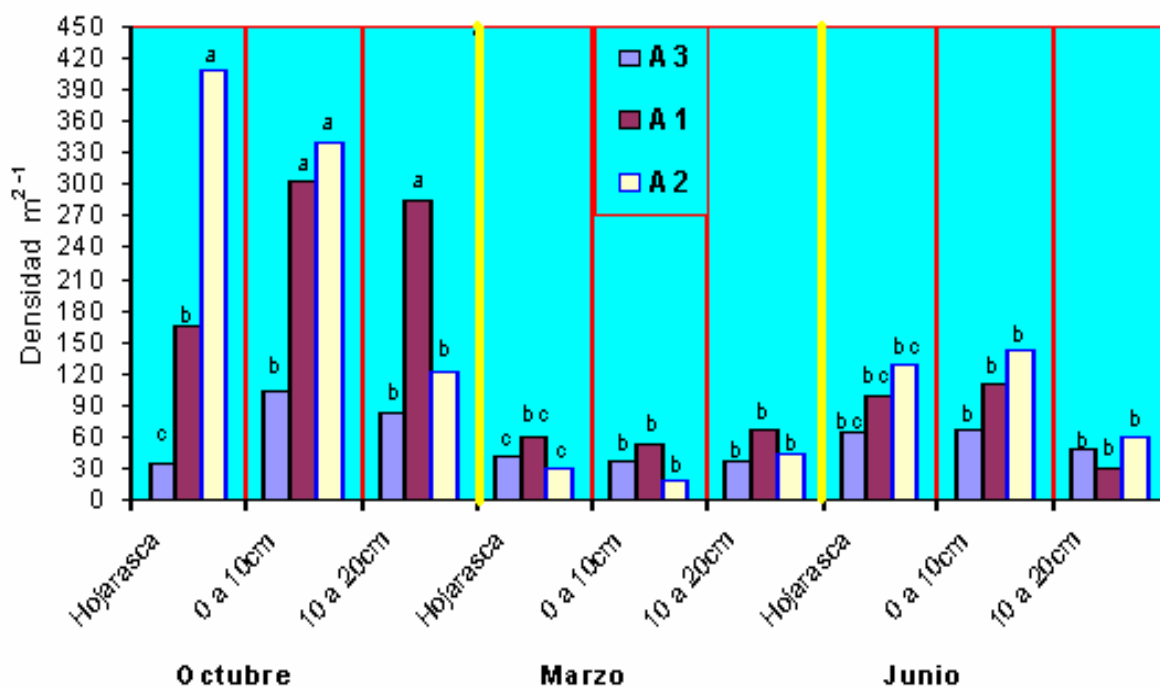


(a,b): letras no comunes difieren a $p < 0.05$ para Dunnett's C.
EE ± 10.42 .

Gráfico 5d. Densidad poblacional de las diferentes órdenes en la capa de 10 a 20 cm.

Hymenoptera (67,5^a; 41,7^{ab}) para octubre y junio, **Coleóptero** (36,4^{bcd}) en octubre y **Lumbricidae** (60,6^{ab}; 31,1^{bcd}) para octubre y junio, en el muestreo realizado de 10 a 20 cm (gráfico 5d) los valores más significativo se encontraron en las órdenes **Lumbricidae** (64,0^a) e **Hymenoptera** (55,5^a).

Como se representa en el gráfico 5a el mes de octubre es el mes de mayor densidad poblacional, lo que se ratifica en el gráfico 6 donde se muestra la densidad de órdenes por época por edad y por nivel.



(a,b,c): Letras no comunes difieren para $P < 0.05$ por Dunnett's C.

EE Hojarasca = ± 53.54 . EE 0 a 10 cm = ± 66.10 .

EE 10 a 20 cm = ± 54.23 .

A3: Zona sin árboles; A2 : Zona de árboles de ocho años .

A1: Zonas de árboles de tres años.

Gráfico 6. Densidad poblacional del total de las órdenes del suelo en dependencia de la época, capas y zonas de estudio.

Nótese, como en el mes de octubre en la hojarasca las zonas donde se presentan los árboles son estadísticamente superior a la zona sin árboles y de estas la de ocho años lo que se debe principalmente a los altos niveles de materia orgánica que esta área presenta (gráfico 7) y la humedad que existe en el suelo ya que según Crespo *et al.*, (1998) obtuvieron los mayores valores en cuanto al número de individuos y su biomasa en la época de lluvia ya que el porcentaje de humedad presente en el suelo influye directamente en la fauna que habita en las capas superficiales, resultados similares obtuvieron Subler *et al.* (1998) y Rodríguez *et al.* (1998) quienes encontraron a las lombrices y las larvas de coleópteros como los individuos de mayor diversidad, al igual que Crespo *et al.* (1998) y Milera *et al.* (1996) en suelo Ferralítico Rojo, en el mes de

marzo aun cuando las condiciones que se crean debajo de los árboles son favorables la falta de humedad hace que las poblaciones decaigan, no existiendo diferencias estadísticas entre las diferentes zonas y niveles, no obstante existe mayor tendencia de las diferentes órdenes a refugiarse en la profundidad de 10 a 20 cm, ya en junio la diversidad poblacional tienden al aumento, principalmente en la estratos de 0 a 10 cm y la hojarasca, la diversidad en este mes se encontró afectada por las escasas precipitaciones ocurridas en los meses anteriores, lo que concuerda con lo reportado por Martínez *et al.*, (1991) quienes encontraron bajas cantidades de lombrices en el mes de junio lo que pudiera deberse a la escasez de precipitaciones en los dos meses anteriores a los muestreos (abril y mayo), ya que según Tian, (1997) las variables ambientales pueden afectar grandemente la actividad y número de lombrices en el suelo.

Toda esta diversidad de organismos del suelo específicamente larvas de insectos, insectos, lombrices y otros que se presentan en las zonas arborizadas permiten una fácil penetración de las raíces, la infiltración del agua y la circulación del aire (Primavesi, 1990). Según Kolmans *et al.*, 1996 y Brussaard, 1997 los animales como ácaros, ciempiés miriápodos, lombrices y hormigas desmenuzan los residuos y dispersan los propágulos, facilitando la descomposición del carbono, además estos dos últimos individuos junto con las termitas modulan directa o indirectamente la disponibilidad de fuentes (como espacio físico y alimentos) para otras especies, y causan cambios en el estado físico del suelo por lo que son llamados descomponedores y bioturbadores que junto con las raíces de las plantas y otras macrofaunas del suelo crean canales, poros, (cuyo tamaño esta en dependencia, del tamaño del organismo del suelo) agregados y montículos de tierra que influyen profundamente en el transporte de gases y de agua en el suelo, (Brussaard, *et al.* 1997), mejorando la estructura (Laakso *et al.*, 1998), ellos crean o modifican los microhabitats para otros pequeños organismos del suelo, son esenciales para mantener la estructura de los suelos dedicados a la agricultura y forestales.

3.3 Efecto de los tratamientos sobre la fertilidad del suelo y el complejo absorbente.

En la tabla 5 aparece el análisis de componentes principales del muestreo realizado en el mes de octubre, donde el primer componente esta compuesto por los índices de fertilidad ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{pH}(\text{KCl})$, MO , P_2O_5 y K_2O) y los cationes (K^+ y Mg^{2+}) más la capacidad de intercambio catiónico (T), mientras que en el segundo componente agrupa de forma no significativa, en las diferentes zonas de estudio al Ca^{2+} y al Na^+ , para la profundidad de 0 a 10 cm.

Véase que la zona de árboles de ocho años resulta significativamente superior ($p < 0,05$) para estos componentes que las zonas A3 y A1, mientras que estos últimos no difieren entre sí; en los componentes de la capa de 10 a 20 cm (tabla 7) la situación es la misma con la diferencia de que entonces el valor T se encuentra en el segundo componente.

Tabla 5. Comparación de los diferentes componentes en las diferentes zonas de estudio en el mes de octubre y en la capa de 0 a 10 cm.

Zonas de estudio.	Componentes Principales	
	1 ^{er} Componente	2 ^{do} Componente
A3	b	a
A1	b	a
A2	a	a

(a, b) letras no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

De forma particular en la profundidad de 0 a 10 cm (tabla 6), cuando se analizan cada uno de estos elementos se nota un ascenso significativo para A2, así la MO , el P_2O_5 y el K_2O , tienen un aumento significativo entre A3 y A2 de 129, 148 y 144 % respectivamente.

En la tabla 7 se encuentra el arreglo de componentes para la capa de 10 a 20 cm, el primero agrupa a ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$, $\text{pH}(\text{KCl})$, MO , P_2O_5 , K_2O , K^+ y Mg^{2+}) favorece a A2, mientras que en el componente 2 que agrupa al catión Ca^{2+} , Na^+ y el valor T resultan no significativos, en la tabla 8 se observan los resultados de esta profundidad por cada una de las edades lo que reafirma el arreglo de componentes; el P_2O_5 , el K_2O , y la MO presenta un aumento del 161, 205 y 86 % respectivamente, en los cationes el K^+

incrementa mientras que el Ca^{2+} se mantiene al igual que el valor T y el Mg^{2+} disminuye significativamente en A2.

Tabla 6. Valores de los elementos de fertilidad del suelo más los cationes por zonas de estudio, en el muestreo del mes de octubre, a la profundidad de 0 a 10 cm.

Zonas de estudio	Índices de fertilidad					$\text{cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$				
	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	(mg/100g)		Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^{+}	K^{+}	T
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
A3	7,31 ^b	5,60 ^b	2,54 ^b	7,77 ^b	21,2 ^b	9,53 ^a	32,8 ^a	,68 ^b	,68 ^b	47,2 ^b
A1	7,33 ^b	5,88 ^b	3,13 ^b	7,54 ^b	20,2 ^b	8,30 ^a	37,1 ^a	,84 ^{ab}	,84 ^b	48,0 ^b
A2	7,80 ^a	6,70 ^a	5,84 ^a	19,35 ^a	51,9 ^a	4,33 ^b	37,6 ^a	1,41 ^a	1,41 ^a	52,2 ^a
EE (±)	0,12	0,20	0,56	2,34	6,53	0,68	2,05	0,43	1,03	1,29

(a, b) medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan (MO, Mg^{2+} , K^{+} y T) y Dunnett's C (pH(H₂O), pH(KCl), P₂O₅, K₂O, Na^{+} y Ca^{2+}).

Tabla 7. Comparación de los diferentes componentes en las diferentes zonas de estudio en el mes de octubre y en la capa de 10 a 20 cm.

Zonas de estudio.	Componentes Principales	
	1 ^{er} Componente	2 ^{do} Componente
A3	b	a
A1	b	a
A2	a	a

(a, b) letras no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

Tabla 8. Valores de los elementos de fertilidad del suelo más los cationes por zonas de estudio, en el muestreo del mes de octubre, a la profundidad de 10 a 20 cm.

Zonas de estudio.	Índices de fertilidad					cmol(+) kg ⁻¹				
	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	(mg/100g)		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	T
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
A3	7,26 ^b	5,66 ^a	2,26 ^b	6,35 ^b	13,6 ^b	8,85 ^a	38,9 ^a	0,25 ^a	0,48 ^b	49 ^a
A1	7,40 ^b	5,78 ^b	2,36 ^b	5,16 ^b	9,8 ^b	7,83 ^a	37,2 ^a	0,26 ^a	0,46 ^b	46 ^a
A2	7,86 ^a	6,83 ^a	4,21 ^a	16,6 ^a	41,5 ^a	2,60 ^b	34,4 ^a	0,19 ^a	1,19 ^a	46 ^a
EE (±)	0,12	1,06	0,21	1,30	5,8	0,57	2,15	0,02	0,13	2,26

(a, b) medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan (MO, pH(KCl), Mg²⁺, y T) y Dunnett's C (pH(H₂O), P₂O₅, K₂O, K⁺, Na⁺ y Ca²⁺).

En el mes de marzo a la profundidad de 0 a 10 cm (tabla 9) en el primer componente los parámetros que lo conforman (pH(KCl), K⁺, Ca²⁺ Mg²⁺ y P₂O₅) resultan significativo para A3, mientras que las otras zonas no difieren entre ellas, no obstante en el segundo componente que agrupa a MO, K₂O, pH(H₂O) y K⁺ sus valores son significativos (tabla 10) para la zona de árboles de ocho años, difiriendo este de A3 y A1, el tercer componente que agrupa al valor T y al Na⁺ no presentan diferencias significativas.

Tabla 9. Comparación de los diferentes componentes en las diferentes zonas de estudio en el mes de marzo y en la capa de 0 a 10 cm.

Zonas de estudio.	Componentes Principales		
	1 ^{er} Componente	2 ^{do} Componente	3 ^{er} Componente
A3	a	b	a
A1	b	b	a
A2	b	a	a

(a, b) letras no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

Al analizar individualmente cada uno de los elementos (tabla 10), los valores del pH(H₂O) no difieren entre las zonas, mientras que en el pH(KCl) la zona A3 solamente difiere ($p < 0,05$) de la zona A1 y en el P₂O₅ el área sin árboles obtuvo los mayores

valores los cuales difieren de A1 y A2, mientras que estos dos últimos no difieren entre ellos.

Tabla 10. Valores de los elementos de fertilidad del suelo más los cationes por zonas de estudio, en el muestreo del mes de marzo, a la profundidad de 0 a 10 cm.

Zonas de estudio	Índices de fertilidad					cmol(+) kg ⁻¹				
	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	(mg/100g)		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	T
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
A3	6,90 ^a	5,84 ^a	3,09 ^b	14,79 ^a	28,2 ^b	5,48 ^a	42,0 ^a	,20 ^a	,87 ^b	49 ^a
A1	6,88 ^a	5,27 ^b	2,98 ^b	9,36 ^b	21,1 ^b	6,66 ^a	38,8 ^b	,18 ^a	,68 ^b	48 ^a
A2	6,66 ^a	5,51 ^{ab}	4,58 ^a	6,21 ^b	43,3 ^b	4,80 ^a	38,4 ^b	,21 ^a	1,20 ^a	47 ^a
EE (±)	0,90	0,15	0,18	0,74	4,13	0,67	1,1	0,02	1,03	0,81

(a, b) medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan (MO, pH(H₂O), P₂O₅, Mg²⁺, y T) y Dunnett's C (pH(KCl), K₂O, K⁺ y Ca²⁺).

En la profundidad de 10 a 20 cm (tabla 11) se forman tres componentes, en el primero se agrupan la MO, el Ca²⁺ el P₂O₅, el Na⁺ y el valor T, y en el segundo por el pH(H₂O), pH(KCl) y el Mg²⁺, en el primero el agrupamiento muestra resultados significativos para A3 la cual no difiere de A1 y si de A2, mientras que en el segundo solo A3 resulta significativo, difiriendo a $p < 0,05$ de las áreas con árboles establecidos, el tercer componente donde se agrupan el K⁺ y el K₂O no es significativo.

Nótese como en esta época tanto para las capas de 0 a 10 (tabla 10) como de 10 a 20 cm (tabla 12) los valores de pH(H₂O), P₂O₅ y K₂O no difieren entre zonas o favorecen a A3, especialmente el P₂O₅, el cual en las épocas final de periodo lluvioso y principio de este aumenta de forma significativa en la zona de árboles con ocho años de establecidos, y en la zona de árboles tres años en el muestreo del mes de junio, debido principalmente a un periodo de recuperación, hay que tener en cuenta que el K₂O aunque no es significativo, los valores en A2 son extremadamente altos (Fundora, Yepes y Galvez (2000).

Tabla 11. Comparación de los diferentes componentes en las diferentes zonas de estudio en el mes de marzo y en la capa de 10 a 20 cm.

Zonas de estudio.	Componentes		
	1 ^{er} Componente	2 ^{do} Componente	3 ^{er} Componente
A3	a	a	a
A1	a	b	a
A2	b	b	a

(a, b) letras no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

Tabla 12. Valores de los elementos de fertilidad del suelo más los cationes por zonas de estudio, en el muestreo del mes de marzo, a la profundidad de 10 a 20 cm.

Zonas de estudio	Índices de fertilidad					cmol(+) kg ⁻¹				
	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	(mg/100g)		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	T
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
A3	7,22 ^a	5,79 ^a	2,42 ^b	11,8 ^a	15,1 ^a	5,53 ^a	40,7 ^a	0,23 ^a	,53 ^a	52,6 ^a
A1	6,79 ^b	5,25 ^b	2,21 ^b	5,8 ^b	25,0 ^a	6,26 ^a	38,4 ^b	0,23 ^a	,70 ^a	49,4 ^b
A2	6,85 ^b	5,65 ^{ab}	4,12 ^a	7,8 ^b	31,3 ^a	5,46 ^a	37,9 ^b	0,20 ^a	,25 ^a	46,5 ^c
EE (±)	1,01	0,13	0,39	1,20	8,31	0,55	0,66	0,01	0,17	0,81

(a, b) medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan (MO, pH(KCl), P₂O₅) y Dunnett's C (K₂O, K⁺, pH(H₂O), Mg²⁺, Na⁺, T y Ca²⁺).

Este proceso de aumento del P₂O₅ en el muestreo del mes de marzo en la zona A3 se debió a que en este periodo las precipitaciones fueron prácticamente escasas (gráficos 2 y 3) y como el suelo no está cubierto por árboles, pierde toda su humedad, haciendo que el pasto se marchite y muera por exceso de transpiración haciendo que no se presente o sea mínima la extracción de nutrientes, mientras que en la zona de árboles el suelo se mantiene húmedo, según Mahecha, *et al* (1999) y Bolívar *et al* (1999) la *Acacia mangium* aumentó significativamente en el suelo los contenidos de humedad, P, N, amonio y nitratos en 15, 98, 38, 53 y 177 % respectivamente; además de que los árboles disminuyen la compactación del suelo (Fisher, 1995), y mejora la aereación (Paul y Clark, 1996) los que a su vez son más asimilables, pero especialmente en esta época aumenta la extracción de nutrientes en la zona de árboles

que en el área donde no hay árboles, pues según Cáceres y otros (2000) las leguminosas, dentro de ellas las arbóreas, hacen una fuerte extracción, ya que el contenido de nutrientes en ellas es superior al de las gramíneas, pero además los contenidos de P, N y K de las gramíneas asociadas a las arbóreas son superiores a las que se encuentran en monocultivo (tablas 23 a 25).

Tabla 13. Comparación de los diferentes componentes en las diferentes zonas de estudio en el mes de junio en la capa de 0 a 10 cm.

Zonas de estudio.	Componentes		
	1 ^{er} Componente	2 ^{do} Componente	Ca ²⁺ y T
A3	b	b	a
A1	b	b	a
A2	a	a	a

(a, b) letras no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

Tabla 14. Valores de los elementos de fertilidad del suelo más los cationes por zonas de estudio, en el muestreo del mes de junio, a la profundidad de 0 a 10 cm.

Zonas de estudio	Índices de fertilidad					cmol(+) kg ⁻¹				
	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO (%)	(mg/100g)		Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	T
				P ₂ O ₅	K ₂ O					
A3	6,80 ^b	5,78 ^b	3,26 ^b	9,2 ^b	28,5 ^b	7,93 ^a	40,7 ^a	0,31 ^a	,97 ^b	53 ^a
A1	6,88 ^b	5,76 ^b	3,38 ^b	13,5 ^{ab}	37,1 ^b	8,80 ^a	40,1 ^a	0,33 ^a	1,26 ^b	52 ^a
A2	7,32 ^a	6,51 ^a	6,15 ^a	17,7 ^a	57,4 ^a	5,20 ^b	38,7 ^a	0,23 ^b	1,83 ^a	45 ^b
EE (±)	0,66	0,15	0,33	1,4	6,5	0,50	1,69	0,52	0,14	1,4

(a, b) medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan (MO, pH(H₂O), K⁺, P₂O₅, T) y Dunnett's C (K₂O, pH(KCl), Mg²⁺, Na⁺ y Ca²⁺).

En el muestreo realizado en el mes de junio en la profundidad de 0 a 10 cm se formaron tres componentes (tabla 13), en el primero se agrupan el Mg²⁺, el pH(H₂O), el pH(KCl) y el Na⁺, en el segundo componente el P₂O₅, el K⁺, el K₂O y la MO y el tercer componente que no presenta diferencias estadísticas agrupa al Ca²⁺ y al valor T. En el primero, A2 presenta diferencias significativas sobre las demás áreas, mientras que en el segundo A2 y A1 no difieren entre ellas, como tampoco A1 de A3; en la tabla 14, A2

presenta incrementos sobre A3 de un 88, 92, 101, 88 % para MO, P_2O_5 , K_2O y K^+ , respectivamente, sin embargo el Mg^{2+} en todos los muestreos anteriores ha mostrado los menores niveles de forma significativa o no, tanto en A2 como en A3, lo que se debe principalmente a las cantidades de potasio que se incorporan al suelo vía hojarasca (1,97 %); más la que se recicla a través de las excretas (9 %) y orinas (63 %) del ganado vacuno (Rodríguez, 2000), mientras que el magnesio solo se incorpora mediante la bosta, en un 10 %; y en la hojarasca 1,81 %.

Según Redondo, Sánchez y Rodríguez, (1990) los altos niveles de potasio en el suelo o la intensa fertilización con abonos que contengan este elemento produce un incremento del mismo, lo que disminuye el contenido de magnesio en el suelo, además estos autores refieren que la probabilidad de deficiencia de magnesio es mayor en los suelos alcalinos que en los ácidos, lo que coincide con los resultados obtenidos en el muestreo en el mes de octubre donde los valores del pH(H_2O) en la capa de 10 a 20 cm es ligeramente alcalino siendo la relación Ca/Mg de 13:1 que según MINAG (1984) las relaciones superiores a 10:1 implican deficiencias de magnesio bien marcadas, este elevado cociente calcio-magnesio disminuye la capacidad de absorción del magnesio por las plantas (Redondo, *et al.* 1990), en este mismo muestreo pero en la capa de 0 a 10 cm esta relación es de 8:1, sin embargo existen deficiencias de este elemento, pues presenta un 8 % de la capacidad de intercambio catiónico, ya que el Mg^{2+} en el suelo debe suponer al menos el 10 % de la capacidad de intercambio catiónico (Redondo, *et al.* 1990).

El magnesio es un elemento de importancia tanto para las plantas y animales, así en las plantas específicamente en la caña de azúcar, Voronin (1972) encontró que la aplicación de este elemento al suelo facilitó la aparición temprana de vástagos, lo que aportó un mayor número de tallos de la misma edad, estimula el rápido cierre de los surcos y aumentó el contenido de minerales en la planta.

En la profundidad de 10 a 20 cm (tabla 15) el primer componente (MO, K^+ , K_2O , Ca^{2+} , Na^+ y T) es significativo para $p < 0,05$ en A2 el cual difiere para A3 y A1 los que no difieren entre sí, esta (A2) continua mostrando incrementos para los principales índices de fertilidad (tabla 16), así la MO, el P_2O_5 , el K_2O ascienden a 40, 62 y 97 % respectivamente y el magnesio presenta los menores valores, mientras que el segundo

componente (Mg^{2+} , pH(KCl), pH(H_2O) P_2O_5) no muestra diferencias estadísticas entre las diferentes áreas de estudio.

Tabla 15. Comparación principales en las diferentes zonas de estudio en el mes de junio en la capa de 10 a 20 cm.

Zonas de estudio.	Componentes Principales	
	1 ^{er} Componente	2 ^{do} Componente
A3	b	a
A1	b	a
A2	a	a

(a, b): letras no comunes difieren a $P < 0.05$ por Duncan.

Tabla 16. Valores de los elementos de fertilidad del suelo más los cationes por zonas de estudio, en el muestreo del mes de junio, a la profundidad de 10 a 20 cm.

Zonas de estudio	Índices de fertilidad					cmol(+) kg^{-1}				
	pH (H_2O)	pH (KCl)	MO (%)	(mg/100g)		Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	K^+	T
				P_2O_5	K_2O					
A3	7,01 ^b	5,81 ^b	2,70 ^b	6,95 ^b	15,9 ^b	7,60 ^a	42,0 ^b	0,33 ^a	,62 ^b	53 ^a
A1	7,07 ^{ab}	5,73 ^b	2,43 ^b	6,41 ^b	15,1 ^b	8,80 ^a	41,1 ^b	0,33 ^a	,60 ^b	52 ^a
A2	7,36 ^a	6,56 ^a	3,78 ^a	11,30 ^a	31,5 ^a	4,91 ^b	35,5 ^a	0,22 ^b	1,21 ^a	43 ^b
EE (\pm)	1,04	0,17	0,13	1,40	3,6	0,50	0,82	1,04	1,17	0,68

(a, b) medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan (MO, pH(H_2O), K^+ , P_2O_5 , T) y Dunnett's C (K_2O , pH(KCl), Mg^{2+} , Na^+ y Ca^{2+}).

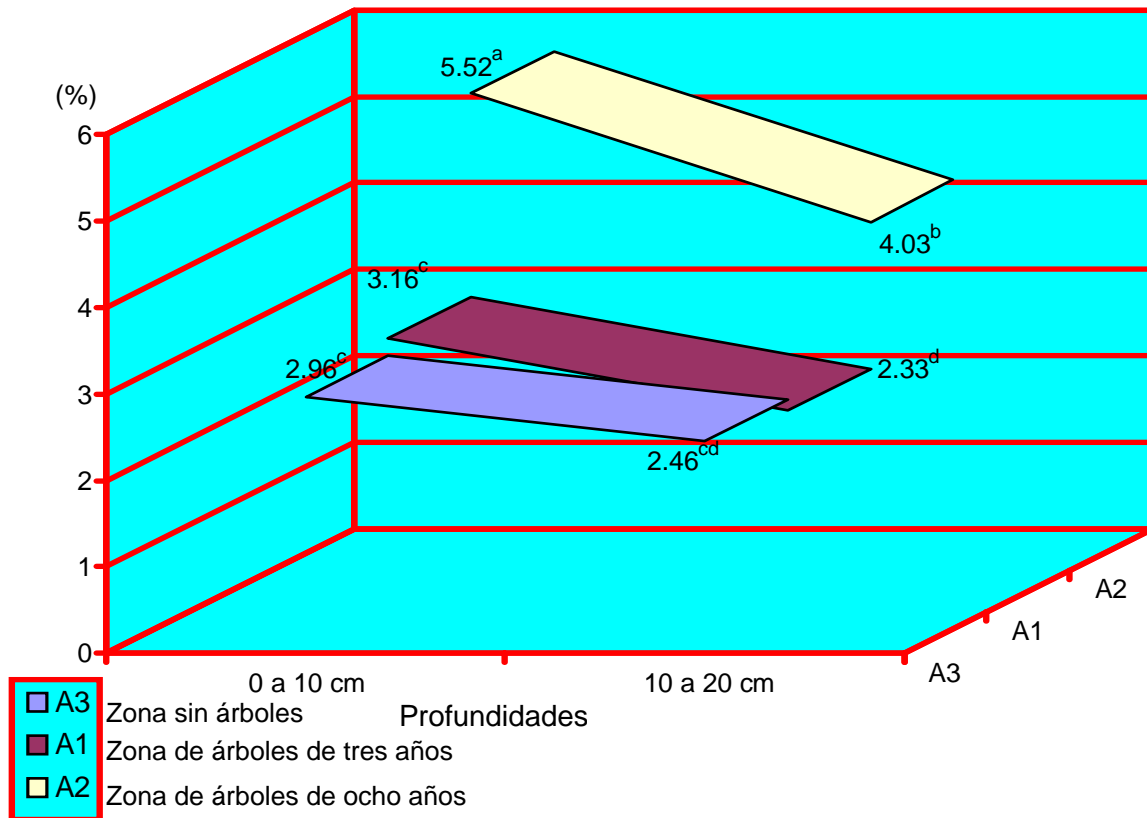
Los niveles de materia orgánica de la zona A2 son clasificados como altos (Cairo *et al.*, 1994), lo que se debe fundamentalmente a la deposición estable y uniforme de la hojarasca en el suelo, según Cairo *et al.*, (1994) la mayor parte de la materia orgánica del suelo tiene origen vegetal y proviene de la vegetación herbácea de los bosques y de los restos de las cosechas, además como esta es una zona de pastoreo al igual que las demás, no se puede olvidar la acción del ganado vacuno a través de la deposición de su orina y excretas, ya que según Ruiz *et al.* (1999), la sombra favorece la deposición

de excretas por los animales en el área de pastoreo, lo que coincide con lo informado por Botero (1993) y Botero *et al.*, (1999) quienes plantearon que el reciclaje de nutrimentos minerales, como parte de la sostenibilidad del sistema, es mayor a través de las heces de los animales en los sistemas silvopastoriles que en las pasturas tradicionales sin árboles, arbustos o hierbas leguminosas. Con esta aseveración pudiéramos entonces decir que debería existir diferencias entre las zonas A3 y A1, lo cual no es así, lo que se explica debido a que en A1, en su primer año ocurrió el periodo de establecimiento donde no se permitió la entrada de animales, además con el objetivo de favorecer las actividades culturales a la Leucaena y que este periodo fuese productivo, en las calles se sembró maíz en unas y girasol en otras, que son dos plantas esquilmanes, en el caso de la primera Socorro y Martín (1998) plantearon que el solo hecho, del cambio de pH del suelo de ácido a ligeramente ácido, aumentó la extracción de diferentes nutrientes del suelo, además su cultivo deja descubierta una gran parte de la superficie del suelo, por lo que aumenta la erosión y las pérdidas de agua.

De forma general los valores de MO, según Cairo *et al* (1994) son categorizados de muy altos (octubre) y altos (marzo y junio) para la zona de árboles de ocho años, mientras que donde no existen árboles, ésta se comporta como medio, el P_2O_5 para A2 se categoriza (Fundora, Yepes y Galvez, 2000) de alto (octubre), medio (marzo) y alto (junio), mientras que en A3 solo se evalúa de alto en el muestreo del mes de marzo, y el K_2O aunque se evalúan de altos tanto en A2 como en A3 los valores en la primera zona son en extremos altos.

En cuanto a los por cientos de materia orgánica entre profundidades tanto en el área A1 como en la A2 los mayores valores significativos (gráfico 7) se encontraron en 0 a 10 cm, lo que concuerda con lo reportado por Mahecha *et al* (1999) al evaluar un sistema silvopastoril (SSP) y que según Sierra *et al.* (1997) señalan que el número de invertebrados (anélidos) en el suelo depende del desarrollo del humus, siendo la capa de 0 – 10 cm donde se acumula mayor contenido de materia orgánica y biomasa, mientras que en la zona A3 no hubo diferencias entre ambas profundidades para la materia orgánica.

Según Velasco, (1998) el reciclaje que ocurre en el sistema vía hojarasca y raíces, aumenta las cantidades de hojarasca depositada en la superficie del suelo; la que es fuente principal de humus (Cairo *et al.* 1994), por lo que en la vegetación de los bosques el aporte principal es de la parte aérea, por ello la mayor cantidad de humus



(a,b,c,d): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0.05$ por Dunnett's C. EE = ± 0.28 .

Gráfico 7. Por cientos de materia orgánica del suelo en las diferentes profundidades y zonas de estudio.

se encuentra en la superficie, mientras que a mayor profundidad es menor en relación con las gramíneas, pues el sistema radical de los árboles se transforma muy lentamente, lo cual se traduce en un menor contenido de humus. Aquí hay que tener en cuenta que en los SSP entre sus componentes está el pasto que generalmente son gramíneas o quizás mezclas de ellas con leguminosas volubles, las que presentan un profuso sistema radical; y que al morir son fuente de materia orgánica (Botero *et al.*, 1999).

3.4 Efecto de los tratamientos sobre el estado estructural del suelo.

En la ordenación de los pastizales, los árboles y arbustos intervienen, fuertemente, en el reciclado de los nutrientes en el sistema suelo-pasto-animal (Hernández *et al*, 1998), donde los árboles benefician la estructura y la fertilidad química, física y biológica de los suelos (Zou *et al*., 1995 y Cruz, 1996, 1997). Así los resultados que se muestran en la tabla 17 a 22 muestran superioridad estadística en todas las propiedades físicas de la zona A2 sobre A3.

Al establecer comparaciones entre A2 y A3 véase como la permeabilidad en la primera zona se encuentra siempre por encima de 2,20, caracterizado según Henin citado por Cairo (1994) como excelente, mientras que en A3, esta no supera el valor de 1,83, valorado por los anteriores autores como adecuado; cuando la permeabilidad (índice K) es próxima a 2,00 los suelos tienden a manifestar un buen estado estructural, aumentando la humedad para el límite inferior de plasticidad, lo que tiende a igualar la capacidad de campo (Cairo *et al* 1994) por lo que existe mayor posibilidad de almacenamiento de agua y su disponibilidad para las plantas; un hecho claro de esto es cuando se compara a golpe de vista ambas zonas en pleno periodo seco, notándose el color verde de los pastos en la zona con presencia de árboles, mientras que donde estos no existen los pastos manifiestan un color pardo amarillento, lo que denota un extremo estado de marchitez que se refleja en su calidad, y por tanto el aprovechamiento de este y la productividad del animal decaen fuertemente.

Según los resultados expuestos en las diferentes tablas, los mayores niveles de materia orgánica se obtienen en la zona A2, mientras que A1 muestra tendencias favorables, Renda *et al* (1997 y 1999) indica la importancia de la materia orgánica ya que esta junto con el humus constituyen una fuente nutritiva para los organismos heterotróficos del suelo, influyendo de manera decisiva en las propiedades físicas como la estructura, la capacidad de retención de humedad del suelo, estando de acuerdo con Isichei *et al*, (1992), Cairo *et al* (1994), Siavosh *et al* (1999) y porosidad y densidad aparente Botero *et al* (1999); además su efecto de descompactación es positivo y relevante en áreas degradadas a causa de la compactación del suelo,

Tabla 17. Comparación de las propiedades físicas del suelo con respecto a las diferentes zonas en el mes de octubre en la profundidad de 0 a 10 cm.

Edad	Permeabilidad Log K	Limite Inferior de Plasticidad (%)	F. Estructura (%)	A. Estables (%)
A3	1,76 ^b	35,2 ^b	60,9 ^b	57,6 ^b
A1	2,10 ^a	35,6 ^b	62,8 ^{ab}	57,8 ^b
A2	2,25 ^a	38,5 ^a	65,7 ^a	64,0 ^a
Error Estándar (\pm)	0,05	0,8	1,1	1,4

(a, b): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Dunnett's C para permeabilidad, factor de estructura y agregados estables; y Duncan para plasticidad.

Tabla 18. Comparación de las propiedades físicas del suelo con respecto a las diferentes zonas en el mes de octubre en la capa de 10 a 20 cm.

Edad	Permeabilidad Log K	Limite Inferior de Plasticidad (%)	F. Estructura (%)	A. Estables (%)
A3	1,76 ^b	34,3 ^b	61,1 ^b	61,6 ^a
A1	2,12 ^a	36,0 ^{ab}	62,5 ^b	56,2 ^a
A2	2,24 ^a	37,9 ^a	67,1 ^a	63,6 ^a
Error Estándar (\pm)	0,41	0,72	1,21	0,99

(a, b): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

A3 Zona sin árboles. A1 Zona de árboles de tres años. A2 Zona de árboles de ocho años

Tabla 19. Comparación de las propiedades físicas del suelo con respecto a las diferentes zonas en el mes de marzo en la profundidad de 0 a 10 cm.

Edad	Permeabilidad Log K	Limite Inferior de Plasticidad (%)	F. Estructura (%)	A. Estables (%)
A3	1,80 ^c	35,1 ^b	59,0 ^b	62,2 ^b
A1	2,12 ^b	34,5 ^b	59,9 ^b	55,9 ^c
A2	2,38 ^a	37,2 ^a	66,9 ^a	63,8 ^a
Error Estándar (\pm)	0,43	0,6	0,89	0,99

(a, b, c): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan.

A3 Zona sin árboles. A1 Zona de árboles de tres años. A2 Zona de árboles de ocho años

Tabla 20. Comparación de las propiedades físicas del suelo con respecto a las diferentes zonas en el mes de marzo en la profundidad de 10 a 20 cm.

Edad	Permeabilidad Log K	Limite Inferior de Plasticidad (%)	F. Estructura (%)	A. Estables (%)
A3	1,73 ^c	32,8 ^b	55,1 ^b	60,8 ^a
A1	2,04 ^b	31,8 ^b	57,3 ^b	53,8 ^b
A2	2,22 ^a	34,3 ^a	63,3 ^a	61,7 ^a
Error Estándar (\pm)	0,41	0,57	1,1	0,67

(a, b, c): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan para permeabilidad, y Dunnett's C para plasticidad, factor de estructura y agregados estables.

A3 Zona sin árboles. A1 Zona de árboles de tres años. A2 Zona de árboles de ocho años

Tabla 21. Comparación de las propiedades físicas del suelo con respecto a las diferentes zonas en el mes de junio en la capa de 0 a 10 cm.

Edad	Permeabilidad Log K	Limite Inferior de Plasticidad (%)	F. Estructura (%)	A. Estables (%)
A3	1,83 ^c	33,5 ^b	57,7 ^c	56,3 ^b
A1	2,12 ^b	34,5 ^b	60,7 ^b	55,8 ^b
A2	2,22 ^a	37,0 ^a	65,3 ^a	62,3 ^a
Error Estándar (±)	0,42	0,49	0,89	0,55

(a, b, c): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan

A3 Zona sin árboles. A1 Zona de árboles de tres años. A2 Zona de árboles de ocho años

Tabla 22. Comparación de las propiedades físicas del suelo con respecto a las diferentes zonas en el mes de junio en la capa de 10 a 20 cm.

Edad	Permeabilidad Log K	Limite Inferior de Plasticidad (%)	F. Estructura (%)	A. Estables (%)
A3	1,79 ^a	32,1 ^b	56,5 ^c	54,6 ^b
A1	2,08 ^b	33,4 ^b	60,3 ^b	54,8 ^b
A2	2,20 ^a	34,9 ^a	64,2 ^a	61,5 ^a
Error Estándar (±)	0,49	0,64	0,98	0,47

(a, b, c): Medias con superíndices no comunes difieren a $P < 0,05$ por Duncan para permeabilidad y factor de estructura, y Dunnett's C para plasticidad y agregados estables.

A3 Zona sin árboles. A1 Zona de árboles de tres años. A2 Zona de árboles de ocho años

ocasionada por la mecanización y/o por el pisoteo continuo del ganado, que depende del número de animales por unidad de área (carga animal), de su edad y del tipo de suelo (Daniel *et al* 1999), este efecto es más marcado cuando los árboles alcanzan tamaños mayores (Giraldo, 1999), también, esta mejoría se debe a la actividad de los organismos del suelo llamados descomponedores y bioturbadores que junto con las raíces de las plantas y otras macrofaunas del suelo crean canales, poros, (cuyo tamaño esta en dependencia, del tamaño del organismo del suelo) agregados y montículos de tierra que influyen profundamente en el transporte de gases y de agua en el suelo,

(Brussaard, *et al* 1997), mejorando la estructura (Laakso y Setälä, 1998); ellos crean o modifican los microhabitats para otros pequeños organismos del suelo, son esenciales para mantener la estructura de los suelos dedicados a la agricultura y forestales (Brussaard, *et al* 1997). Estas ganancias que obtiene el sistema a través del tiempo por los beneficios que el árbol en la ganadería ejerce se pueden observar en los gráficos 8 y 9.

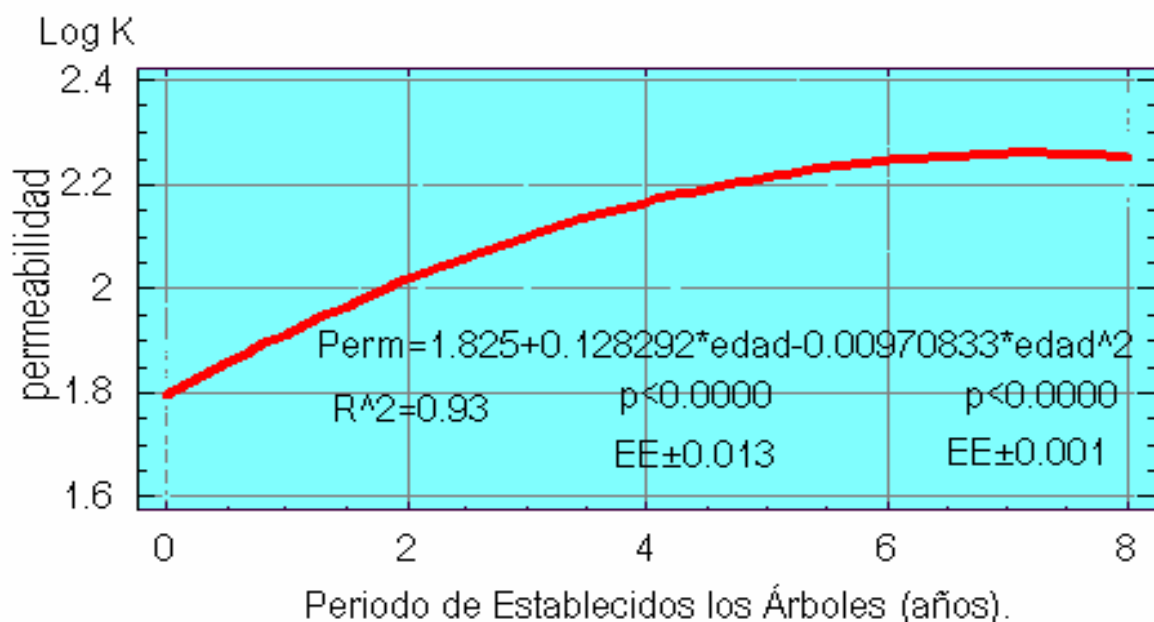


Gráfico 8. Dinámica de la permeabilidad del suelo durante el periodo de establecidos los árboles.

3.5 Efecto acumulativo del sistema silvopastoril en el mejoramiento del suelo.

El gráfico 8 muestra de manera muy clara y con rigor estadístico el incremento progresivo en el tiempo de la permeabilidad del suelo con el SSP, cuando se compara con el tiempo cero ó área de referencia, sin establecimiento de árboles

A los dos años de establecidos los árboles el valor de la permeabilidad se encuentra por encima de $2 \log^{10k}$, la cual se evalúa de excelente Cairo *et al*, (1994) lo que se debe principalmente en este momento a la acción bioturbadora de las raíces de los árboles y el incremento de la macrofauna del suelo; los que crean canales, poros, agregados y montículos de tierra que influyen profundamente en el transporte de gases y de agua en

el suelo, (Brussaard, *et al* 1997), mejorando la estructura (Laakso y Setala, 1998), la caída natural de las hojas y las podas ayudan a incrementar la disponibilidad de agua, de luz y de nutrimentos para todos los componentes del sistema. Sharma, Singh, Tyagi y Mohan (1998b); véase en la gráfica 10 cómo los niveles de materia orgánica caen ligeramente en esta periodo de establecido los árboles y posteriormente comienza su ascenso producto de la acción acumulativa de las bostas y el orine del ganado combinado con la horasca de los árboles y la acción descomponedora de la macrofauna del suelo, haciendo que el valor de la permeabilidad a los seis años se encuentra sobre $2,2 \log^{10k}$, estos valores (2 y 6 años) indican que el suelo presenta una mayor cantidad de macroporos, por tanto se encuentran mejor estructurados (gráfico 9) con relación al suelo natural, permitiendo un mayor movimiento del agua hacia las capas inferiores, reduciendo las perdidas de suelo por arrastre de las aguas; en las plantas ésta mejora permite que el sistema radical se desarrolle con suficiente oxígeno, ocurriendo un eficiente proceso de fotosíntesis (Primavesi, 1990).

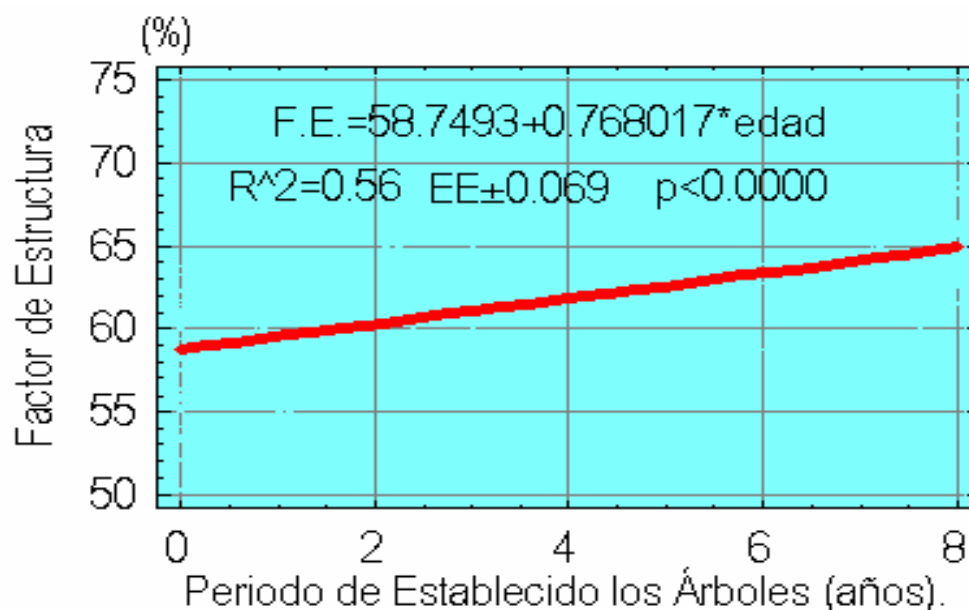


Gráfico 9. Dinámica del factor de estructura durante el periodo de establecidos los árboles.

En el gráfico 9 también se refleja el efecto acumulativo en el tiempo del sistema sobre el estado estructural, pasando el factor de estructura desde el tiempo cero a ocho años de establecidos los árboles de una categoría a otra.

Con el SSP las gramíneas se encuentran acompañadas de árboles y/o arbustos leguminosos (Rizvi *et al.* 1999), además del componente animal (Simón, 1998) los que crean condiciones ambientales y edáficas favorables a la actividad de los macroorganismos, especialmente las lombrices perforan galerías en todas direcciones y en esta acción segregan una mucosa que da firmeza a las paredes de las mismas, mejoran la circulación del aire y el agua, almacenan sus deyecciones en la superficie del suelo, a la entrada de las galerías, en cantidades que fluctúan entre 10-90 t ha⁻¹ año⁻¹, las que contienen gran cantidad de microorganismos, transformando el humus moor en humus mull (Cabrera, 1988 y Kolmans *et al.* ,1996) todas estas propiedades físicas y químicas que se mejoran a través del tiempo de implantada esta tecnología (SSP), se debe al mayor aporte de materia orgánica (gráfico 10). Bajo estas condiciones el sistema llega alcanzar valores que clasifican de buenos según la evaluación de estructura de Vageler y Alten citado por Cairo (1994).

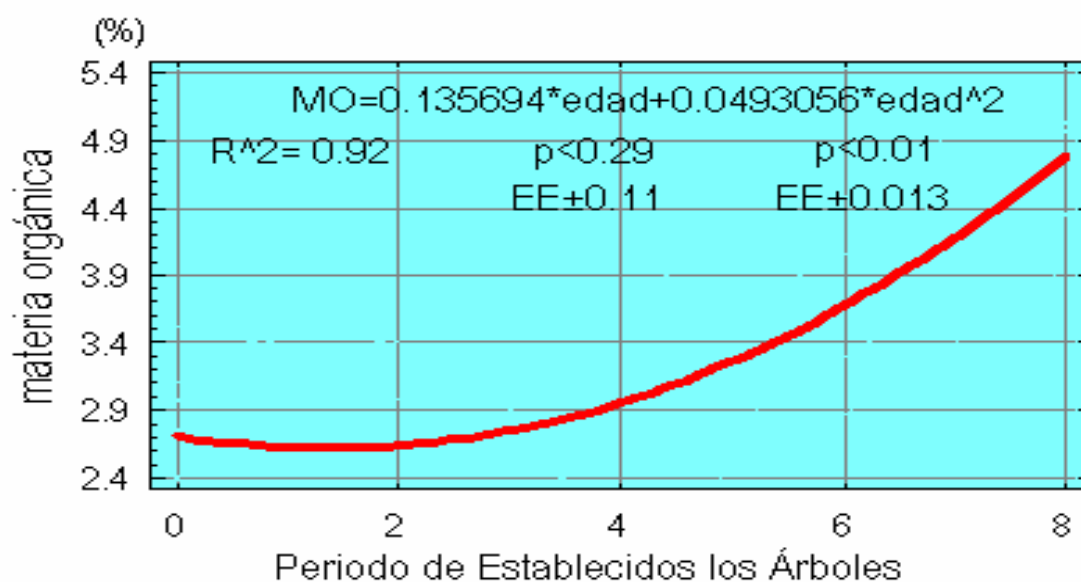


Gráfico 10. Dinámica de la materia orgánica en el periodo de establecidos los árboles.

El gráfico 10 representa la dinámica de la materia orgánica la que presenta una excelente relación ($R^2 = 0.92$) con el periodo de establecidos los árboles; en la zona sin árboles representada por el periodo cero, el nivel de la materia orgánica se clasifica de mediano y aunque a los seis años alcanza el valor de 3,6 considerado igualmente como medio, pero con incrementos de más de 1 % que se obtiene en este mismo periodo en la permeabilidad (gráfico 8) ya que según Cairo, (1982) reporta que existe una estrecha relación entre diferentes propiedades estructurales y los contenidos de materia orgánica, tales como porosidad de aereación (0,45⁺⁺), porosidad de agregados al agua (0,44⁺⁺), la permeabilidad (0,60⁺⁺⁺); además de influir positivamente en la distribución porosa.

La implantación de esta tecnología, como se reporta en cada una de las dinámicas no es más que el beneficio de la integración de cada uno de los componentes del sistema (pastos, árboles y ganado) sobre el suelo, lo que refleja la posibilidad que tienen estos (SSP) en mejorar un suelo con cierto grado de degradación, hacia suelos con óptimas propiedades físico-químico-biológicas.

3.6 Efecto de los tratamientos sobre la composición bromatológica de los pastos.

Bustamante (1991) al evaluar asociaciones de diferentes pastos con *E. Poeppigiana* y Bolívar *et al* (1999) con *A. mangium* encontraron altos niveles de N en el suelo y en el pasto (Bronstein, 1984; Bustamante, 1991; Belsky, 1992; Carvalho *et al*, 1994).

En las tablas 23, 24 y 25 se muestran los valores de la composición bromatológica de los pastos asociados o no, donde la materia seca en las tres épocas de estudio obtuvo la mayor significación en la zona sin árboles, siendo significativamente superior en el mes de marzo (gráfico 11), debido a que la temperatura siempre se mantiene elevada en los trópicos a lo que se une una alta radiación solar (Durán, 1996), estos factores favorecen el contenido de materia seca debido a una mayor eliminación de agua por transpiración (Pezo 1992), lo que ocasiona el cierre de los estomas y el desbalance que suele producirse en esas horas del día, entre la pérdida de agua por transpiración y la absorción de agua por las raíces, lo que hace que la planta reduzca su actividad fotosintética y se afecte su crecimiento (Vázquez *et al.* 1995), lo que implica tasas más rápidas de maduración y una declinación de la digestibilidad con la edad (Pezo 1992).

Tabla 23. Composición bromatológica de los pastos de las diferentes áreas de estudio, en el mes de Octubre.

Zonas de estudio.	MS (%)	FB(%)	PB(%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)
A3	41,3 ^a	34,4 ^a	5,63 ^c	0,87 ^c	0,145 ^b	1,25 ^c	0,654 ^a
A1	31,8 ^b	34,6 ^a	11,51 ^a	1,83 ^a	0,242 ^a	2,59 ^b	0,598 ^a
A2	31,4 ^b	34,0 ^a	9,14 ^b	1,45 ^b	0,159 ^b	3,78 ^a	0,623 ^a
EE(±)	0,6	0,7	0,33	0,50	0,016	1,04	0,082

(a,b) medias con superíndices no comunes difieren a $p < 0,05$, por Dunnett's C para MS, FB, P y Ca y por Duncan para PB, K y N.

Los valores de fibra bruta, tanto cuando se evalúan por áreas de estudio (tablas 23 y 24) como cuando interactúan entre meses (gráfico 11) no muestran diferencias estadísticas, excepto en el mes de Junio, sin embargo la fibra bruta en la zona sin árboles pueden estar afectada por el incremento de la temperatura, ya que esta aumenta la formación de lignina que se encuentra incrustada en la fibra (Herrera, 1983) inhibiendo la digestión por el animal de los carbohidratos estructurales; en las horas más calurosas del día se produce un déficit hídrico que inhibe la síntesis de proteínas y ocurre una aceleración de la degradación de las proteínas ya formadas; este hecho se manifiesta como un aumento significativo en los niveles de aminoácidos libres y principalmente de prolina libre, lo que puede ser aminorado con el empleo de árboles en la ganadería (Pezo, 1992), lo que implica la reducción de la intensidad de luz, esto disminuye la formación de carbohidratos estructurales en las gramíneas y leguminosas y en estas circunstancias mientras se afectan negativamente los azúcares solubles, se producen marcados incrementos en el contenido de nitrógeno (Pentón *et al.* 1997), debido a que la planta que permaneció a la sombra o en la oscuridad requiere más energía para reducir los nitratos, para lo cual utiliza los azúcares solubles.

Tabla 24. Composición bromatológica de los pastos de las diferentes áreas de estudio, en el mes de Marzo.

Zonas de estudio.	MS (%)	FB(%)	PB(%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)
A3	68,6 ^a	35,1 ^a	4,68 ^b	0,74 ^b	0,174 ^a	0,81 ^b	0,60 ^a
A1	47,7 ^b	35,7 ^a	8,52 ^a	1,36 ^a	0,186 ^a	2,12 ^a	0,63 ^a
A2	48,3 ^b	33,5 ^a	8,18 ^a	1,28 ^a	0,244 ^a	1,96 ^a	0,64 ^a
EE(±)	1,8	1,4	0,45	0,07	0,038	0,32	0,041

(a,b) medias con superíndices no comunes difieren a $p < 0,05$, por Dunnett's C para MS, PB, FB, N, P y Ca y por Duncan para N y K.

Tabla 25. Composición bromatológica de los pastos de las diferentes áreas de estudio, en el mes de Junio.

Zonas de estudio.	MS (%)	FB(%)	PB(%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)
A3	37,3 ^a	24,7 ^b	8,29 ^b	1,32 ^b	0,04 ^b	1,25 ^b	0,79 ^a
A1	18,0 ^b	33,0 ^a	13,83 ^a	2,20 ^a	0,17 ^a	2,86 ^a	0,76 ^a
A2	20,1 ^b	23,6 ^b	14,34 ^a	2,29 ^a	0,12 ^a	2,49 ^a	0,92 ^a
EE(±)	1,35	2,53	0,86	0,13	0,01	0,30	0,13

(a,b) medias con superíndices no comunes difieren a $p < 0,05$, por Dunnett's C.

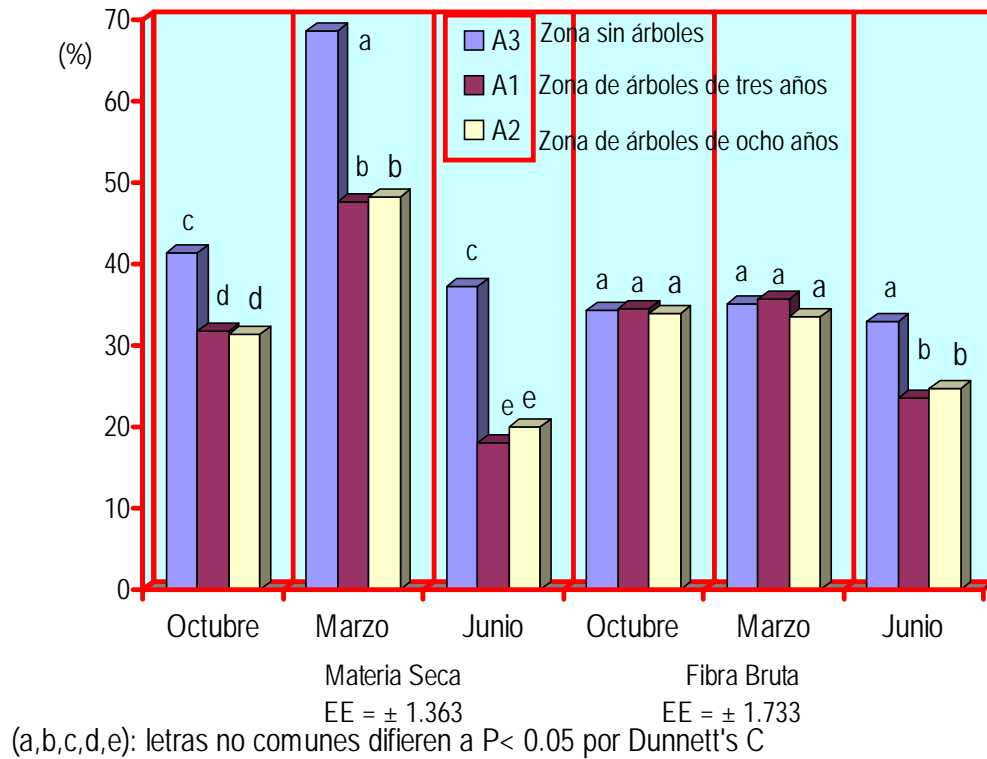
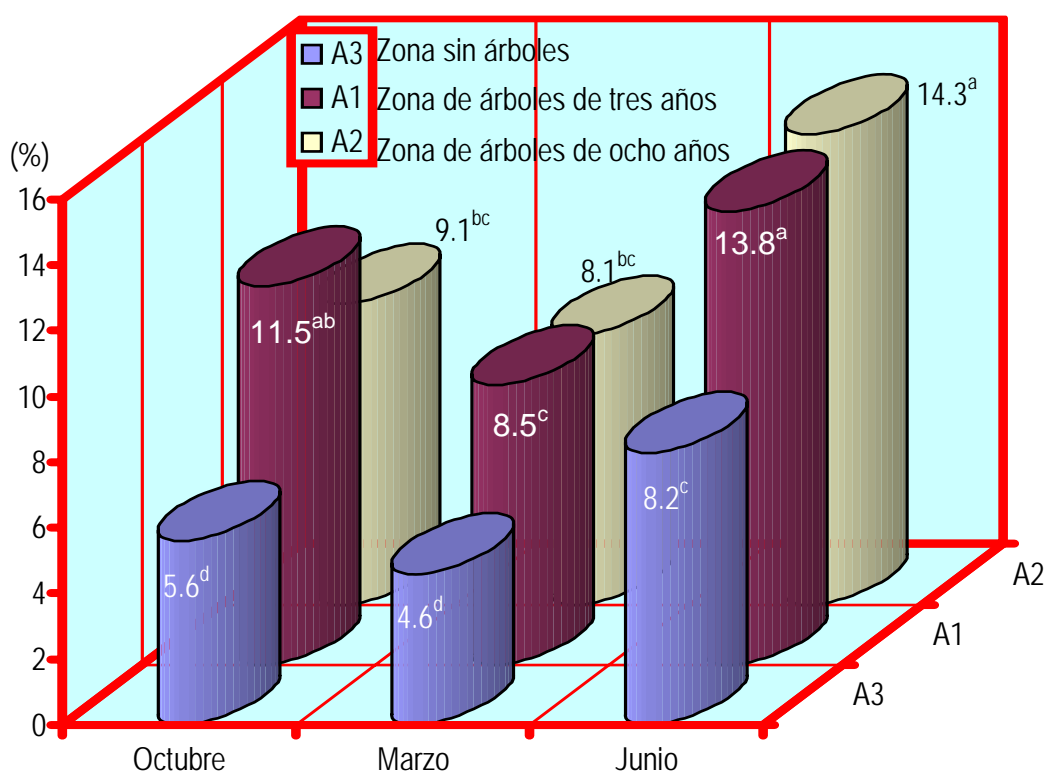


Gráfico 11. Interacción época en cuanto a materia seca (%) y fibra bruta.

También cuando el nitrógeno es un factor limitante y existe una alta intensidad luminosa, se incrementa la producción de materia seca, pero ocurre un agotamiento de los nitratos y la proteína (Pentón, *et al.* 1997).

La proteína bruta, que es un indicador del N acumulado en la planta (Wong 1990 y Pentón, *et al.* 1997), se incrementó en las áreas donde el árbol es parte del sistema (tablas 23, 24 y 25) independientemente del mes de estudio (gráfico 12), estos valores para el mes más crítico de producción lechera significan 0,57, 1,06 y 1,01 litros de leche por cada kilogramo de materia seca ingerido, para A3, A1 y A2 respectivamente.

Sin embargo, solo en el mes de junio es cuando la zona sin árboles puede suplir los requerimientos de proteína para al menos producir $1,02 \text{ lt leche kg}^{-1}$ de MS, mientras que A1 y A2 pueden alcanzar hasta 1,72 y 1,78 lt leche kg^{-1} de MS consumido.



(a,b,c,d) medias con superíndices no comunes difieren a $p < 0.05$ por Dunnett's C. EE ± 0.6

Gráfico 12. Niveles de proteína bruta entre las épocas y las áreas de estudio.

Estos altos niveles de proteína en los pastos se deben además de las mejoras ambientales que se crean, a que en los SSP se reportan altos valores de nitratos los que pueden ser explicados por el efecto benéfico que tienen los árboles al disminuir la compactación del suelo (Fisher, 1995), ya que la aereación es una condición primordial para que ocurra la nitrificación; también es muy importante el contenido de humedad (Paul y Clark, 1996).

El P y el K también mostraron aumentos significativos para las zonas con árboles en potreros, mientras que el Ca no sufrió variación alguna, manteniéndose estable durante el tiempo.

Mahecha *et al.* (1999) al evaluar la acción de un sistema silvopastoril en el componente suelo determinó que los contenidos de carbono, materia orgánica y nitrógeno presentaron la misma tendencia; los mayores contenidos de estos elementos se

encontraron en presencia de las leguminosas en la profundidad de 0-10 y 10-20 cm; los mayores contenidos de fósforo se encontraron en las asociaciones que contaron con la presencia de las leguminosas en todas las profundidades; lo que posibilitó que el P se ligara en forma de humatos y pudiera estar disponible para la gramínea asociada. También, se debe considerar que algunas plantas movilizan P a través de los aminoácidos excretados por las raíces y que actúan como quelantes, ya sea por micorrizas o por bacterias de la rizosfera situación que puede presentarse en los tratamientos con leguminosas (Primavesi, 1990).

3.7 Algunas consideraciones sobre la sostenibilidad del sistema.

La aplicación de esta tecnología aumentó significativamente los índices de fertilidad, principalmente en la zona de árboles de ocho años, las propiedades físicas y microbiológicas del ecosistema, así como la diversidad del entorno creando un ambiente más favorable, para la explotación ganadera, lo que repercute en un mayor consumo de forraje verde por hectárea de mayor calidad, así solo con los valores de proteína bruta que se manifiestan en la zona de árboles de ocho años para los meses más críticos se podrá estimar una producción de $1,01 \text{ Lt vaca}^{-1} \text{ kg MS}^{-1}$ consumido, esto da una producción estimada de $218,7 \text{ kg de leche vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ lo que satisface el consumo en el desayuno de 600 alumnos, quedando 69 litros para fabricación de queso o venta a trabajadores.

En este sistema donde se integran suelo, pasto, árbol y el ganado vacuno lechero, existe una constante deposición de materia orgánica, proveniente de la hojarasca y el estiércol, y de nutrientes producto de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, el fósforo y la orina del ganado.

Según Paretas, 1978 la materia orgánica constituye el potencial de nitrógeno que estará lentamente disponible a medida que avanza la mineralización, y su acumulación en formas orgánicas es el resultado neto de numerosos procesos químicos y biológicos.

Cairo *et al* (1994) reporta que estiércol vacuno puede tener un mayor efecto sobre la estructura que la gallinaza y el estiércol porcino, y que los aportes continuados, durante largo tiempo de estiércol vacuno sobre la estabilidad del agua de los grumos, es notable porque aumenta la proporción de los grumos estables al agua, de un tamaño superior a

0,5 mm desde 28 hasta 55 %, aunque su efecto depende del tipo y contenido de arcilla del suelo y la proporción de Ca.

Producto de las mejoras químico-físico-biológicas que el suelo obtiene por la integración del árbol y sus interacciones con los demás componentes del sistema, se hace necesario suspender la actividad ganadera en parte de estas áreas y comenzar con la integración agricultura ganadería, de forma rotacional por cuartones o bloques de cuartones, siempre y cuando para esta decisión de comienzo y fin de esta integración se tenga en cuenta el estado físico químico del suelo, y comenzar especialmente con el cultivo de granos y semillas oleaginosas con el objetivo de satisfacer las necesidades alimentarias de los animales con altos requerimientos nutricionales.

La adopción de esta tecnología trajo consigo un mejoramiento de la calidad del pasto asociado al árbol, estos valores de las zona A1 y A2 para los muestreos realizados en los meses de octubre, marzo y junio, cuando se comparó con pastos cultivados (mejorados) según Cáceres y otros (2000), permitió un ahorro de fertilizantes de 120 y 100; 60 y 60, y 160 y 120 kg de nitrógeno respectivamente y lo que esto significa en la reducción del costo de producción.

CONCLUSIONES

La presencia del árbol en el ecosistema ganadero, es una buena opción que facilita de forma sostenible mejorar las condiciones físico-químico-biológico de los suelos Pardos con Carbonatos. De los resultados de su aplicación se puede concluir que:

1. El establecimiento del sistema silvopastoril permitió incrementar las densidades de la macrofauna en el suelo, principalmente las órdenes ***Hymenoptera y Lumbricide***.
2. EL trabajo muestra como se pueden lograr incrementos de la Materia Orgánica, el P_2O_5 y el K_2O de los suelos dedicados a la ganadería cuando se integra la silvicultura a la ganadería.
3. Constituye un resultado importante el incremento de las propiedades físicas del suelo, posibilitando una mejor aereación, infiltración y almacenamiento del agua, evitando la erosión por razones hídricas.
4. La aplicación de esta tecnología aumentó significativamente los índices de fertilidad, principalmente en la zona de árboles de ocho años, las propiedades físicas y microbiológicas del ecosistema, así como la diversidad del entorno creando un ambiente más favorable, para la explotación ganadera.
5. Los incrementos que se obtienen en la calidad del pasto, principalmente la proteína bruta, permiten una mayor persistencia y producción del ganado vacuno, incurriendo en la mejora de las necesidades alimentarias de la población estudiantil del IPA "Victoria de Santa Clara".
6. Los niveles de proteína bruta que se reportan con la presencia del árbol, permiten el ahorro de cantidades importantes de fertilizantes nitrogenados, y lo que eso significa en la disminución de los costos de producción.
7. Las mejoras que se obtienen en el suelo producto de las entradas de forma acumulativa de las bostas del ganado vacuno, la hojarasca y de las excreciones de los organismos del suelo, permite aseverar que a los seis años de establecidos los árboles, ya el sistema suelo se encuentra recuperado.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la arborización y estudiar la influencia del árbol en la fertilidad de otros tipos de suelos.
2. Producto del efecto acumulativo de las bostas del ganado vacuno, la hojarasca de los árboles y la acción de los organismos del suelo, se hace necesario comenzar con la integración ganadería agricultura de forma rotacional a partir de los doce años, principalmente con especies de granos y semillas oleaginosas, para su utilización como suplementos a los animales de mayores exigencias alimentarias.
3. Producto de los beneficios que los árboles leguminosos ofrecen al suelo debido al reciclaje de nutrientes que aportan ya sea vía hojarasca y/o fijación de nitrógeno atmosférico, es necesario que una vez iniciada la rotación de cultivos en esta área, el aporte de la hojarasca al suelo no debe ser de forma natural, si no mediante las podas.
4. Mantener el estudio sobre estas áreas, para decidir nuevamente cuando se reincorpora la ganadería y que nueva área se toma.
5. Continuar con el estudio estacional con énfasis en la época de seca con el objetivo de verificar los niveles de P_2O_5 .

REFERENCIAS

1. Abbott, I.; Parker, C.A. 1980. The occurrence of earthworms in the wheat-belt of Western Australia in relation to land use and rainfall. *Australian Journal of Soil Research* 18(3): 343-352.
1. Acosta, Zoe. 1998. Contribución al estudio de leguminosas arbóreas y arbustivas para su uso en sistemas silvopastoriles. Memorias. III Taller Silvopastoril. "Los árboles y arbustos en la ganadería. p 14.
2. Alpízar L. 1985. Resultados del "experimento central" del CATIE: Asociaciones de pastos y arboles de sombra. In: Beer JW, Fassbender HW and Heuveldop J (eds) *Avances en la investigación agroforestal*, pp 237-243. CATIE, Turrialba, Costa Rica
3. Altieri, A. M. 1996. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. *Agroecología y Agricultura Sostenible. Módulo 1.* p. 122-149.
4. Amézquita, E. 1998. En IX Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Octubre 1998. Manejo de Suelos e Impacto Ambiental.
5. Ana Ida Cabrera. 1988. *Un Útil Trabajador Subterráneo La Lombriz de Tierra*. Ed. CIDA. Ciudad de la Habana. 72p.
6. AOAC, 1990. *Official Methods of Analysis*. Ass. Agric. Chem. 15 th. Washington, D.C.
7. Belsky A.J.1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineus forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands* 26: 12-20
8. Benavides, 1983. Investigación en árboles forrajeros. En: Curso corto intensivo sobre técnicas agroforestales con énfasis en la medición de parámetros biológicos y socioeconómicos. Turrialba Costa Rica. CATIE.
9. Benavides, J. 1999. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica.
10. Benavides, J.; Libreros, H.; Kass, D.; Pezo, D. & Borel, R. 1994. Productividad de plantaciones asociadas de Poro (*Erythrina poeppigiana*) y King Grass (*Pennisetum*

purpureum x Pennisetum typhoides) en condiciones de trópico húmedo. Resúmenes. Taller Internacional. Sistemas silvopastoriles en la producción ganadera. p.19.

11. Bernier, N. 1998. Earthworm feeding activity and development of the humus profile. Biol Fert Soils. 26 (3) : 215-223.

12. Bezkorowajnyj, P.G., Gordon, A.M. & McBride, R.A. 1993. The effect of cattle foot traffic on soil compaction in a silvo-pastoral system. Agroforestry Systems, Dordrecht, 21(1):1-10.

13. Bolívar, Diana, María. Ibrahim, M. & Kass, D. 1999. Composición Mineral de ***Brachiaria humidicola*** Bajo un Sistema Silvopastoril con ***Acacia mangium***. VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. en soporte magnético.

14. Borel, R. 1987. Sistemas silvopastoriles para la producción animal en el trópico y uso de árboles forrajeros en alimentación animal. En: Memorias VI Encuentro Nacional de Zootecnia. Cali. Octubre 18-31/87. 24 p.

15. Botero, R. 1993. Papel de las especies forrajeras tropicales en la conservación y recuperación de suelos ácidos de ladera. Industria y Producción Agropecuaria, Colombia. 1(4):14-23.

16. Botero, R. & Russo, O.R. 1999. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. en Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".

17. Bronstein G. E. 1984. Producción comparada de una pastura de ***Cynodon plectostachyus*** asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de ***Erythrina poeppigiana*** y sin árboles. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 110 p

18. Brussaard. L. 1997. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. Ambio. Vol 26. p. 563

19. Budowski, G. 1983. An attempt to quantify some current agroforestry practices in Costa Rica In: Plant research and agroforestry (P. A. Huxley, Ed). ICRAF, Nairobi. p.43

20. Buresh, R.J. & Tian, G. 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Syst.* 38 (1-3): 51-76.
21. Burges-Raw. 1971. *Biología del Suelo*. Ed Omega S.A., Barcelona. 589p.
22. Bustamante J. 1991. Evaluación de comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 131 p
23. Cairo, C. P. 1982. Relaciones entre métodos de cultivos, propiedades físicas y rendimiento de un suelo arcilloso pesado. *Centro Agric.* 9 (3) p 71.
24. Cairo. C. P, & Fundora. H. O. 1994. *Edafología*. Ed Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 475p.
25. Cairo, P., Malvis Carvajal & Machado, J. 1996. Como mejorar la bioestructura de suelos degradados de la provincia de Santis Spiritus. *Rev. Agric. Orgánica*. N. 3. p. 7.
26. Cajas-Girón, Yasmin & Sinclair, F. L. 1999. Perspectivas para el Uso de Sistemas Silvopastoriles de Estratos Múltiples en la Región Caribe de Colombia. *Avances de Investigación. VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles*. en soporte magnético.
27. Castro, R.T.C. 1996. Tolerancia de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento. Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 247pp Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa
28. Carvalho M M, Freitas V, Almeida D. S. & Villaca H. 1994. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composicao mineral da forragem em pastagens de braquiaria. *Sociedade Brasileira de Zootecnia* 23 (5): 709-719
29. Carvalho M M, Freitas V P, Andrade A. C. 1995. Crecimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). *Pasturas Tropicales* 17 (1): 24-30
30. Castillo, E. 1996. Manejo de la *Leucaena leucocephala* para la producción de carne bovina. Primer Encuentro Nacional de Transferencia de Tecnología. Manual de Trabajo. La Habana, Cuba. p.103

31. Cortez, J.; Billes, G.; Bouche, M.B. 2000. Effect of climate, soil type and earthworm activity on nitrogen transfer from a nitrogen-15-labelled decomposing material under field conditions. *Biology and Fertility of Soils*. 30 (4) : 318-327.
32. Crespo, G. & Fraga, S. 1996. Característica de la producción y descomposición de la hojarasca en varias leguminosas y gramíneas de pastoreo. X Seminario de Pastos y Forrajes. Resúmenes. p. 22.
33. Crespo, G. Rodríguez, I. Sánchez, R. & Fraga, S, Y. 1999. Influencia de ***Albizia lebbbeck*** y ***Leucaena leucocephala*** en Indicadores del Suelo, el Pasto y los Animales en Sistemas Silvopastoriles
34. Cruz, P. 1996. Growth and nitrogen nutrition of a ***Dichantium aristatum*** pasture under shading. *Tropical Grassl*. Volume 30, 407-413.
35. Cruz, P. 1997. Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, ***Dichantium aristatum***. *J. of Exptal Botany* 48:306.
36. Daniel, O. & Couto, L. 1999. Una visión general de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con Eucalipto en Brasil. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"
37. Del Pozo, P. P.; Jérez, Irma; Mesa, B.; Padilla, P. & Ginoria, J. 1999. Comportamiento Productivo de un Agroecosistema Silvopastoril Asociado con ***Leucaena leucocephala*** y ***Cynodon nlemfuensis***. Memorias. Primer Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible y VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles.
38. Díaz Magali., Gonzáles Vivian & Esquivel Ileana. 1996. Composición taxonómica y evaluación ecológica de los firmicids durante el segundo ciclo de la caña de azúcar. Vol. 10. *Rev. Biología* p. 71.
39. Durán, A. J. L. 1996. Los suelos tropicales y su manejo ecológico. *Agroecología y Agricultura Sostenible*. Modulo 2. p 64.
40. Edwards, C.A.; Lofty, J.R. 1980. Effects of earthworm inoculation upon the root growth of direct drilled cereals. *Journal of Applied Ecology*. 17(3): 533-543.
41. Faber, I. H. & Verhoez, H. A. 1991. Functional differences between closely-related soil artropods with respect to the decomposition processes in the presence or absence of pine tree roots. *Soil Biol. Biochem*. 23. 15-23.

42. FACT. 1997. ***Erythrina poeppigiana***: Árbol para sombra va hacia nuevas perspectivas. Una guía útil para árboles de uso múltiple. En sitio [www. winrock. org. /forestry/ factnet.htm](http://www.winrock.org/forestry/factnet.htm)
43. FACT. 1998a. ***Gliricidia sepium***. The quintessential agroforestry species. A quick guide to multipurpose trees from around the world. En sitio [www. winrock. org. /forestry/ factnet.htm](http://www.winrock.org/forestry/factnet.htm)
44. FACT. 1998b. ***Leucaena leucocephala***: Un árbol versátil fijador de nitrógeno. Una guía útil para árboles de uso múltiple. En sitio [www. winrock. org. /forestry/ factnet.htm](http://www.winrock.org/forestry/factnet.htm)
45. Fajardo, O., Bustamante, C., Fernández, I., Barbara, Cumba. & Yojana Rodríguez. 1997. Aporte de nitrógeno y P₂O₅ al suelo por la fitomasa de los árboles de sombra de las especies ***Leucaena leucocephala*** y ***Gliricidia sepium*** en ***Coffea arabica***. en programa y resúmenes. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. p. 2.
46. FAO, 1997. La Acacia y sus servicios en la protección ambiental. en sitio <http://www.fao.org/docrep/V5360E/v5360e08.htm>.
47. Farell. G. J. 1996. Sistemas Agroforestales. En Agroecología y Agricultura Sostenible. Módulo 2. p. 98.
48. Fasbender, W. H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2^{da} Edición. CATIE. Costa Rica. 491p.
49. Fragoso, C.; Lavelle, P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. Soil Biology and Biochemistry. 21(12): 1397-1408.
50. Febles, G. & Ruiz, T.E. 1996. Los árboles y arbustos en el agroecosistema. Rev. Agricultura Orgánica. 2: 7.
51. Febles, G., Ruiz, T.E. & Lazo, J.A. 1997. Siembra de árboles para la ganadería. Importancia de la sombra. Manual de Agro-Red para la ganadería. Tomo II. Agrotécnica y Producción de Alimento, La Habana, Cuba.pp56-58.
52. Febles, J. M. ; Riverol, M. & Treto, Eolia. 1995. Manejo agroecológico de la fertilidad de los suelos en el trópico. Conferencias y mesas redondas. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. LA Habana. Cuba. p. 11.

53. Febles, G.; Ruiz, T. E.; Chongo, B.; Alonso, J.; La O.; Scull, I.; Gutierrez, J.C.; Diaz, H.; & Hernández, L. 1999. Evaluación de Diferentes Especies de Árboles y Arbustos para el Desarrollo de Sistemas Silvopastoriles en el Trópico. Primer Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible y VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. En soporte magnético.
54. Febles, G.; Ruiz, T.E. & Simón, L. 1995. Consideraciones acerca de la integración de los sistemas silvopastoriles a la ganadería tropical y subtropical. Conferencias XXX Aniversario Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. Pág 55.
55. Fisher R. F. 1995. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. Soil Science Society America Journal 46(5): 970-976
56. Fleischer, J. E.; Masuda, Y. & Goto, I. 1984. The effect of light intensity on the productivity and nutritive value of green panic (***Panicum maximum var trichoglume cv Petrie.***) Journal of Japanese Society of Grassland Science. 30:191.
57. Fuentes, P. & Marrero. P. 1996. La utilización del arroyo en los cultivos. Otra alternativa ecológica. Rev. Agricultura Orgánica. No 1. p 18.
58. Galiana A, Gnahoua G.M, Chaumont J, Lesueur D, Prin Y, & Mallet B (1998) Improvement of nitrogen fixation in ***Acacia mangium*** through inoculation with rhizobium. Agroforestry Systems 40: 297-307 p
59. García Trujillo. 1992. Agricultura Orgánica." Una vía actual para producir alimentos sanos a bajo costo y preservar la naturaleza" ACPA 1. p. 28.
60. Garcia Trujillo. 1996. Los animales en los sistemas agroecológicos. La Habana. 100p.
61. Giraldo, A. L. 1999. Potencial de la arborea guácimo (***Guazuma ulmifolia***), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica" _
62. Givaldo V., L.A., Botero, J., Saldarriaga, J., & David, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvipastoril natural, en la región atlántica de Colombia. Agroforestería en las Américas, Turrialba, 2(8):14-19.
63. Gómez M E & Preston R T. 1996 Livestock Research for rural Development Vol 8 No1.

64. Gómez M. E., Rodríguez L, Murgueitio, Ríos C, Rosales M, Molina C H, Molina C H, Molina E, Molina J. P. 1997. Árboles y Arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica: Matarratón ***Gliricidia sepium***, nacedero ***Trichanthera gigantea***, Pízamo ***Erythrina fusca***, Botón de oro ***Tithonia diversifolia*** 2da edición. CIPAV. Cali.127p.
65. Graham, R. C.; Ervin, J. O. & Wood, H. B. 1995. Aggregate stability under oak and pine after four decades of soil development. Soil-Sci-Soc-Am-j [Madison, Wis.] Soil Science Society of America. v.59 (6)p.1740-1744. en sitio http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC_pubs/worm9<o:p</o:p
66. Granma. 1997. Resolución Económica del V Congreso del Partido Comunista de Cuba. 7 de Noviembre. 8p.
67. Godwin D C, Jones C A. 1991. Nitrogen dynamics in soil-plant systems. In Modeling Plant and soil Systems. Eds J.. Hanks; J. T. Ritchie. American Society of Agronomy Madison. Madison, WI. p 287-321
68. Gonzáles, Isora. 1996. ***Acetobacter diazotrophicus***, una endofita fijadora de nitrógeno. Pastos y Forrajes, 19: 103.
69. Guevara, R.; Ruiz, R.; Curbelo, R.; Jiménez. A. & Canino, E. 1994. Efecto de la sombra de algarrobo común (***Samanea saman***) sobre el comportamiento productivo del pastizal. Resúmenes. I Taller Internacional Sistemas Silvopastoriles en la Producción Ganadera. p. 54.
70. Hanson, R. G. & Cassman, K. G. 1994. Soil management and sustainable agriculture in the devolving world. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. Vol. 7a. Comisión VI: Symposia. p. 17.
71. Hernández, I.; Benavides, J.; Camero. A.; Finnegan, B. & Ferreira, P.; 1996. Efecto de las podas al final de las lluvias sobre la producción de biomasa de *Leucaena leucocephala* en la época seca. Resúmenes. Taller Internacional. Los árboles en los sistemas de producción ganadero. p.101.
72. Hernández, I. & Simón, L. 1994. Razones para emplear plantas leñosas en la ganadería vacuna. Taller Internacional. Sistemas Sivopastoriles en la Producción Ganadera. 1-39 p.

73. Hernández, Marta. & Sánchez, Saray. 1998. Aporte del follaje arbóreo en la producción de guinea y en la fertilidad del suelo. III Taller Internacional Silvopastoril. Los árboles y arbustos en la ganadería, EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. Pág. 130-32.
74. Hernández, D.; Carballo, Mirta & Reyes F.1999. Multiasociación y Biodiversidad: Alternativa para la Producción Sostenible de Leche en Cuba. Memorias. Primer Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible y VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles.
75. Hernández, Marta & Sánchez, Saray. 1999. Impacto de los sistemas silvopastoriles en la calidad del suelo. I Taller Internacional sobre Innovación Tecnológica, Socioeconomía y Gestión Agropecuaria. EEPF "Indio Hatuey". en soporte magnético.
76. Herrera, S. R. 1983. La calidad de los pastos. Los pastos en Cuba. Tomo-2. ed. ICA. p 59-109.
77. Holmes, P. M. & Cowling, R.M. 1993. Effects of shade on seedling growth, morphology and leaf photosynthesis in six subtropical thicket species from the eastern Cape, South Africa. *Forest Ecology and Management*. 61:199.
78. Houghton, R.A., Skole, D.L., Lefkowitz, D.S., 1991. Changes in the landscape of latin América between 1850 and 1985. II. Net release of CO₂ to the atmosphere. *Forest Ecology and Management* 38, 173-199.
79. Hu, S.; Coleman, D. C.; Hendrix, P. F. & Beare, M. H. 1995. Biotic manipulation effects on soil carbohydrates and microbial biomass in a cultivated soil. *Soil-biol-biochem* v.27(9): p.1127-1135. en sitio http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC_pubs/worm9<o:p
80. Humphreys LR. 1994. Tropical forages: their role in sustainable agriculture. 414 p.
81. Ibrahim M A. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixtures for sustainable animal production in the Atlantic Zone of Costa Rica. Thesis Ph. D. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Holanda, 129 p

82. Ibrahim, M.; Camero, A.; Camargo, C. J. & Andrade, J. H. 1999. Sistemas silvopastoriles en América Central: Experiencias de CATIE Sistemas Silvopastoriles Dominantes en América Central. VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. en soporte magnético.
83. Iriando, E.; Alvarez, E.; China, A. & Borroto, D. 1998. Experiencias campesinas sobre la utilización de árboles y arbustos en huertos caseros. III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería" EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. Pág. 258-62.
84. isichei, A. Mudghalu, J. 1992. The effects of tree canopy cover on soil fertility in a Nigeria Savanna. *Journal of Tropical Ecology*. 8:329-338.
85. Jeavons, J. 1996 . Sustentabilidad I. *Rev. Agric. Orgánica*. No 1. p. 25.
86. Jiménez, H. A.; Jiménez, P. M. J; Infante, B. D; y colaboradores. 1994. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. 64p.
87. Kass B T, Grime H, Lawson T. 1985. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. *In*: H.A. Steppler, P.K. Nair (eds.). *Agroforestry: a Decade of Development*. International Center for Research on Agroforestry, Nairobi p. 227-243
88. Khanna, P.K. 1998. Nutrient cycling under mixed-species tree systems in southeast Asia. *Agroforest Syst*. 38 (1-3) : 99-120.
89. Khay, K. Ch. 1991. Uso de la hormiga negra del cacao para el control de los daños provocados por los miridos en el cacao. *Agricultura de Montaña y Agroecología*. 1:34.
90. Kolmans. E & Vásquez. D. 1996. *Manual de Agricultura Ecológica*. Ed Enlace. Managua. 219p.
91. Kozlowski, T.T. 1999. Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 14 (6) : 596-619.
92. Kühnelt, W. 1957. *Biología del Suelo*. Ed: CSIC. Madrid. 255p.
93. Laakso, J. & Setälä, H. 1998. Composition and trophic structure of detrital food web in ant nest mounds of *Formica aquilonia* and in the surrounding forest soil. *Oikos*. 81 (2) : 266-278

94. Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No. 21
95. Lal, R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Sciences*. 165 (1) : 57-72.
96. Libreros, H. F. 1990. Efecto de depositar en el suelo material de poda de poró (*E. poeppigiana*) sobre la producción y calidad de biomasa del King Grass establecido en asocio. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba. Costa Rica.
97. Libreros, H. 1995. La sostenibilidad y los sistemas de producción agropecuaria: la agroforestería como alternativa. En. Memorias del seminario internacional sobre sistemas silvopastoriles. Casos exitosos y su potencial en Colombia. Ministerio de la Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia. p. 41.
98. Lavelle, P.; Dangerfield, M.; Fragoso, C.; Eschenbrenner, V.; López-Hernández, D.; Pashanasi, B. & Brussaard, L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: The biological management of tropical soil fertility (Ed. P.L. Woormer and M.J. Swift). TSBF. A Wiley-Sayce Publication, pag. 137.
99. Lopez, A., Schlönvoigt, A., Ibrahim, M., Kleinn, C. & Kanninen, M., 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6:23.
100. Lupwayi, N.Z. & Haque, I. 1998. Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from *Sesbania* and *Leucaena* leaves varying in chemical composition. *Soil Biol Biochem*. 30 (3) : 337-343.
101. Lorenzo, R. O. 1992. Efecto del residuo de la producción de levadura torula sobre el estado físico de los suelos Ferralíticos Amarillentos dedicados a la caña de azúcar. Resumen de la tesis presentada en opción a grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. 18 p.
102. Macklin, B. Nancy Glover & Chamberlain, J. 1991. Una Guía para el establecimiento de plantas para la investigación y demostración de árboles fijadores de nitrógeno. NFTA. Hawai. USA.
103. Mafongoya, P.L.; Giller, K.E. & Palm, C.A. 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. *Agroforest Syst*. 38 (1-3) : 77-97

104. Mahecha, Liliana., Rosales, M., Molina, H. C. & Molina, J. E. 1999. Experiencias en un sistema silvopastoril de ***Leucaena leucocephala-Cynodon plectostachyus-Prosopis juliflora*** en el Valle del Cauca, Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".
105. Mahecha, Liliana; Rosales, M. Vicente, D. C. Hernando, M. C.; Molina, J. E. & Uribe, F. 1999. Evaluación del Forraje y los Animales a Través del Año, en un Silvopastoril Conformado por ***Cynodon plectostachyus, Leucaena leucocephala y Prosopis juliflora***, en el Valle del Cauca, Colombia. VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. en soporte magnético.
106. Massee, T. W. 1990. Simulated erosion and fertilizer effects on winter wheat cropping intermountain dryland area. Soil Science Society of America. Journal. 54:1720.
107. Mazzarino M, Szott L, Jimenez M. 1993. Dynamics of soil total C and microbial biomass, and water soluble C in tropical agroecosystems. Soil Biology and Biochemistry (GB.) 25: 205-214
108. Milera Milagros., Alonso, O. & Suárez, J. 1996. Evolución de la biota del suelo un sistema rotacional racional intensivo. Resúmenes. X Seminario Científico de Pastos y Forrajes. p 18.
109. MINAG. 1984. Manual de interpretación de los suelos. Ed. Científico-Técnica. Ciudad de La Habana. 133p.
110. Morales, M.A. & Heithaus, E.R. 1998. Food from seed-dispersal mutualism sex ratios in colonies of the ant ***Aphaenogaster rudys***. Ecology 79 (2): 734-739.
111. Muñiz, O. 1997. Manejo integrado de la nutrición de los cultivos. Resúmenes. IV Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Reunión Internacional de Rhizosfera. Matanzas. Cuba. P. 9.
112. Murgueitio, E & Zoraida Calle 1999. Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".
113. Murgueitio, R. & Preston, R. T. 1992. Los Sistemas Sostenibles de Producción como Respuesta a la Crisis de la Producción Pecuaria Tropical. Serie de Trabajos y Conferencias No. 6. Colombia. 9 p.

114. NAC. 1997a. The Biology of Silvopastoralism. Agroforestry Notes- 9. EUA. 1-4p.
115. NAC. 1997b. Silvopasture: An Agroforestry Practice. Agroforestry Notes-8. 1-4p.
116. NFTA. 1989. Panorama general de los árboles fijadores de nitrógeno. ¿Porqué árboles fijadores de nitrógeno? NFTA 89-03 Waimanalo. USA.
117. Nivia, Elsa. 1994. Peligros del uso de plaguicidas en la degradación de los suelos. Memorias. 1^{er} Congreso Latinoamericano y del Caribe sobre Nim y otros Insecticidas Vegetales. Santo Domingo. Republica Dominicana. p. 27.
118. NRCS/RCA. 1997. Agroforestry Function and Value.
119. Paretas, J.J. 1978. Uso del nitrógeno en pastos tropicales. Revisión Bibliográfica. Ciencia y Técnica en la Agricultura. 1: p. 5.
120. Paretas, J.J. 1981. Uso del nitrógeno en pastos tropicales VI. Consideraciones generales. Ciencia y Técnica en la Agricultura. 4: p.59.
121. Paretas, J.J. 1993. La producción bovina en Cuba. ACPA 1. p 13.
122. Paul E A, Clark F E (1996) Soil Microbiology and Biochemistry. 2 ed. San Diego, U.S.A. 340 p
123. Pentón, Gertrudis & Blanco, F. 1997. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y rendimiento de los pastos. Pastos y Forrajes. 20:201.
124. Pentón Gertrudis., Blanco, F. & Soca, Mildrey. 1998. La sombra de los árboles como fuente de variación de la composición botánica y la calidad del pastizal en una finca silvopastoril. Memorias. III Taller Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería. p 32.
125. Pezo, D. 1992. Sistemás silvopastoriles. Interacción árbol-pastos. Conferencia Curso Internacional Desarrollo de Sistemas Agroforestales. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 16p.
126. Pimentel D, Stachow U, Takacs DA, Brubaker HW, Dumas AR, Meaney JJ, O'neil JAS, Onsi DE & Corzilius DB 1992. Conserving Biological Diversity in Agricultural/Forestry Systems. BioScience 42: 354-362
127. Pound, B. 1999. Cultivos de Cobertura para la Agricultura Sostenible en América. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"

128. Prieto Trueba Dania & Rodríguez, A C. 1996. Índice de agregación de los invertebrados de la hojarasca en un bosque siempre verde de la reserva de la biosfera de Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba: Análisis comparativo. Vol 10. Rev Biología.
129. Primavesi, Ana. 1990. Manejo ecológico do solo. Ed Librería Nobel S.A. Brasil. 543p.
130. Quam, V. & Johnson. 1994. Windbreaks for livestock operations. North Dakota State University. Serie of windbreak publication. University of Nebraska.
131. Rao, M.R.; Nair, P.K.R. & Ong, C.K. 1997. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Syst.* 38 (1-3): 3-50.
132. Redondo, J.A., Sánchez, P. & Rodríguez, R. 1990. Tetanía hipomagnesemia. Etiopatogenia. *Bovis tratado de veterinaria práctica*. Ed Luzán 5. Madrid. España. 33:25.
133. Renda, A., Calzadilla, E., Jiménez Marta & Sánchez, J. 1997. La Agroforestería en Cuba. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. FAO. p 1- 63.
134. Renda, A., Calzadilla, E., Jiménez Marta & Sánchez, J. 1999. El silvopastoreo en Cuba. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"
135. Rhoades, C.C.; Nissen, T.M. & Kettler, J.S. 1998. Soil nitrogen dynamics in alley cropping and no-till systems on ultisols of the Georgia Piedmont, USA. *Agroforest Syst.* 39 (1) : 31-44
136. Ribaski, J. 1999. Influencia del Algarrobo ***Prosopis juliflora*** en la Disponibilidad y Calidad del Forraje de Pasto Buffel ***Cenchrus ciliaris*** en la Región Semi-árida Brasileira. Primer Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible y VI Seminario Internacional Sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. En soporte magnético.
137. Rizvi, S.J.H.; Tahir, M.; Rizvi, V.; Kohli, R.K. & Ansari, A. 1999. Allelopathic interactions in agroforestry systems. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 18 (6) : 773-796.
138. Rodríguez, L. & P. Cuéllar. 1993. Evaluación de la Hacienda Arizona como un sistema integrado de producción animal sostenible. Documento Interno. Centro para la

Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Cali, Colombia. 76p.

139. Rodríguez Idalmis, Crespo. G, y Fraga. S.,1998.Nota sobre el efecto de la acumulación de bostas vacunas en la macrofauna del suelo. Rev Cubana de Ciencia Agrícola. 32:321

140. Rodríguez, R. 1985. Producción de biomasa de poró gigante (*Eritrina poeppigiana*) y king grass intercalados en función de la densidad de siembra y la frecuencia de poda del poró. Tesis M. S. UCR/CATIE, Turrialba Costa Rica. 96 p.

141. Rosenzweig, C. & Hillel, D. 2000. Soils and global climate change: Challenges and opportunities. Soil Science. 165 (1) : 47-56.

142. Ruiz, E. T., Febles, G., Díaz, H., Hernández, L. & Díaz, F. L. 1994. *Leucaena leucocephala* como árbol de sombra en la ganadería. Resúmenes. Taller Internacional. "Sistemas Silvopastoriles en la producción ganadera" p 49.

143. Ruiz, T.E. & Febles, G. 1998. Enfoque acerca del trabajo sobre árboles y arbustos desarrollados por el Instituto de Ciencia Animal de Cuba. Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción Animal en Latino América. Pp13.

144. Ruiz, E. T., Febles, G., Jordán, H., Castillo, E. & Díaz, H. 1998. Evaluación de diferentes poblaciones de *Leucaena leucocephala* en el desarrollo del pasto estrella. Efecto de la sombra. Memorias. III Taller Internacional Silvopastoril." Los Árboles y Arbustos en la Ganadería. p 35.

145. Ruiz, V. E. & Febles, G. 1999. Enfoque acerca del trabajo sobre árboles y arbustos desarrollados por el instituto de ciencia animal de Cuba. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".

146. Russo, O. 1983. Fijación de nitrógeno en sistemas agroforestales vía árboles de uso múltiple. En: Curso corto sobre metodologías de investigación Agroforestal en el trópico húmedo. Cali, Colombia. Trabajos presentados. CATIE 11p.

147. Maria. A Martínez & Rodríguez. C, 1991.Evaluación Preliminar de las Poblaciones de Oligoquetos (Annelida : Oligochaeta) en los Ecosistemas de Sierra del Rosario, Cuba. Rev Biología. Vol. 5. p. 9.

148. Samsuzzaman, S.; Garrity, D.P. & Quintana, R.U. 1999. Soil property changes in contour hedgerow systems on sloping land in the Philippines. *Agroforestry Systems*. 46 (3) : 251-272. -- 1999.
149. Sánchez, P. A. 1994. Tropical soil fertility research: Towards the second paradigm. 15th World Congress of Soil Science. Vol.1. Inaugural and State of the Art Conferences. Transactions Acapulco. México. p.65.
150. Sánchez, Saray., Milagros Milera, Alonso. O, & Suárez .J, .1996. Evolución de la Biota del Suelo en un Sistema Rotacional Racional Intensivo. X Seminario Científico de Pastos y Forrajes. Resúmenes. p.18.
151. Sánchez, Saray. & Hernández Marta. 1997. Efecto del follaje de ***Bauhinia purpurea*** como abono verde sobre la macrofauna del suelo. En Programa y Resúmenes. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. p. 16.
152. Sarriá, Patricia I.; Gomez, Maria E.; Rodríguez , Lylían; Molina, J.; Molina, C. & Murgueito, E.1994. Pruebas de campo en el trópico con el uso de biomasa para sistemas integrados y sostenibles de producción animal. CIPAV. Colombia. 39p.
153. Sharma, P. K. & Parmar, D. K. 1998a. The effect of phosphorus and mulching on the efficiency of phosphorus use and productivity of wheat grown on a mountain Alfisol in the Western Himalayas. *Soil Use Manage*. 14 (1) : 25-29.
154. Sharma, N.K.; Singh, P.N.; Tyagi, P.C. & Mohan, S.C. 1998b. Effect of leucaena mulch on soil-water use and wheat yield. *Agr Water Manage*. 35 (3) : 191-200
155. Shishchenko, S. V. & Capote, S. 1976. Efecto de diferentes factores ambientales sobre procesos fisiológicos de gramíneas y leguminosas. II. Frijol y maíz en cultivos puros y en asociación. *Ciencias Biológicas*. 1: 57.
156. Siavosh, S., Rivera, J. M. & María Elena Gómez. 1999. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica".
157. Sierra, Araceli y Pérez, P. E. 1996. Coleóptero fauna edáfica en las parcelas experimentales de caña de azúcar (***Saccharum sp.***) *Rev. Biología*.

158. Sierra, Araceli., & Ileana Fernández García. 1997. Evaluación taxonómica y ecológica de coleópteros edáficos en el cultivo de la caña de azúcar Rev. Biología 11: 113.
159. Simón, G. L. 1998. Del monocultivo del pasto al silvopastoreo. La experiencia de la EEPF "Indio Hatuey". Los árboles en la ganadería. Tomo 1. Silvopastoreo. Matanzas. 9-18p.
160. Simón, L., Hernández, I., & Ojeda, F. 1998. Protagonismos de los árboles en los sistemas silvopastoriles. Los árboles en la ganadería. Tomo 1. Silvopastoreo. ed EEPF "Indio Hatuey" Matanzas. p 23-32.
161. Simón, L.; Iglesias, J.; Hernández, C. A.; Hernández, C. A.; Hernández, I. & Duquesne, P. 1990. Producción de carne a base de pastoreo combinado de gramíneas y leguminosas. Pastos y Forrajes. 13:179.
162. Socorro, Q. M. y Martin, F.D. 1998. Granos. Ed Instituto Politécnico Nacional. Mexico. 317p.
163. Stephens, P. M.; Davoren, C. W.; Ryder, M. H. & Doube, B. M. 1995. Field evidence for reduced severity of ***Rhizoctonia*** bare-patch disease of wheat, due to the presence of the earthworms ***Aporrectodea rosea*** and ***Aporrectodea trapezoides***. Soil-biol-biochen v. 26(11): p. 1495-1500. en sitio http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC_pubs/worm9
164. Subler, S. Y Kirsch, A.S. 1998. Spring Dynamics of Soil Carbon, Nitrogen, and microbial activity in Earthworm Middens in a no-till Cornfield. Biol Fert Soils. 26 (3): 243-249.
165. Szott L., Ibrahim, M. y Beer J. 1999. The Hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America, CATIE, Costa Rica.
166. Vasconcelos, I.; Hernández, I.; Benavides, J.; Gonzáles, Fuentes, M. y Esquivel, J. 1996. Efecto de la adición al suelo de follaje de Poro (***Erythrina poeppigiana***) sobre la producción de biomasa de Clavelón (***Hibiscus rosa-sinensis***). Resúmenes. Taller Internacional. Los árboles en los sistemas de producción ganadera. p. 120.
167. Vázquez, Edith & Torres, G. S. 1995. Fisiología Vegetal. Ed Pueblo y Educación. Ciudad Habana. 442p.
167. Velasco A (1998). Productividad forrajera, aporte de fósforo foliar y actividad

biológica, en una pradera de *Brachiaria humidicola* sola y con *Acacia mangium*. Tesis Mag Sc Turrialba, Costa Rica, CATIE, 98 p.

169. Veldkamp, E., 1993. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. Tesis Ph.D., Universidad de Wageningen, NL

170. Voronin, I.A. 1972. El magnesio en las plantas de caña de azúcar, maíz y tabaco. ed UCLV 54p.

171. Wildin, H, J. 1986. Alley farming and the humid and subhumid tropics. Proceedings of and international workshop held at Ibadan, Nigeria. Trees in forage systems. 71 – 81p.

172. Wilson, J.R.; Cameron, D. M.; Shelton, H. M. & Hill, K. 1990. Grass growth within a *Eucalyptus grandis* plantation. CSIRO. Division of tropical crops and pastures. Biennial Research Report 1988-1990. p.79.

173. Wilson, J.R.; Catchpoole, V. R. & Weier, K. L. 1986. Shade stimulation of the growth and nitrogen uptake of a run down green panic pasture on Brigalow clay soil. CSIRO. Division of tropical crops and pastures. Annual Report 1985-1986. p.55.

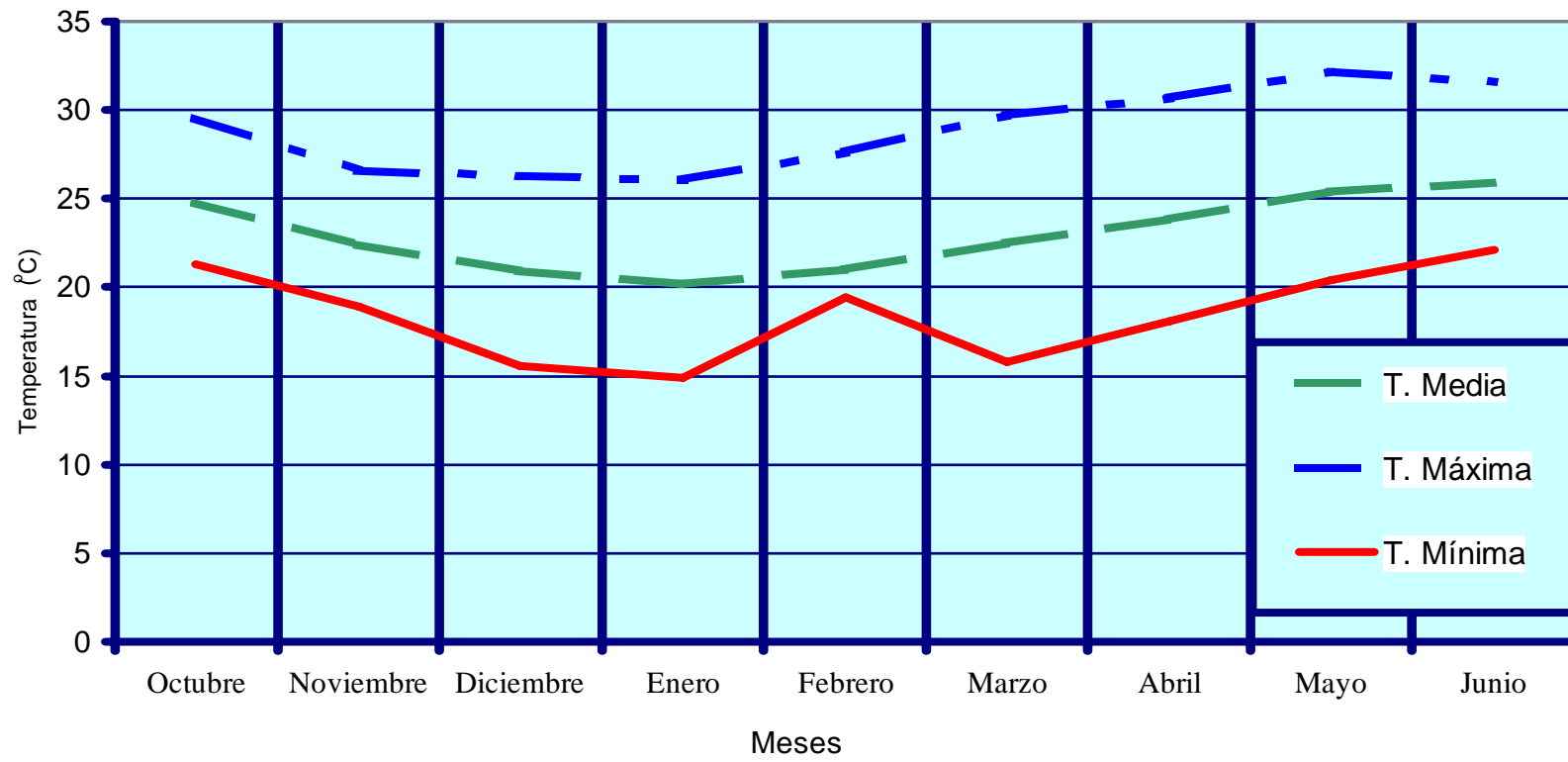
174. Wong, C. C. 1990. Mineral composition and nutritive value of tropical forage legume as affected by shade. Mardi Research Bulletin. 18:135.

175. Wong C C, Wilson J R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. Australian Journal of Agricultural Research. 31 269-285

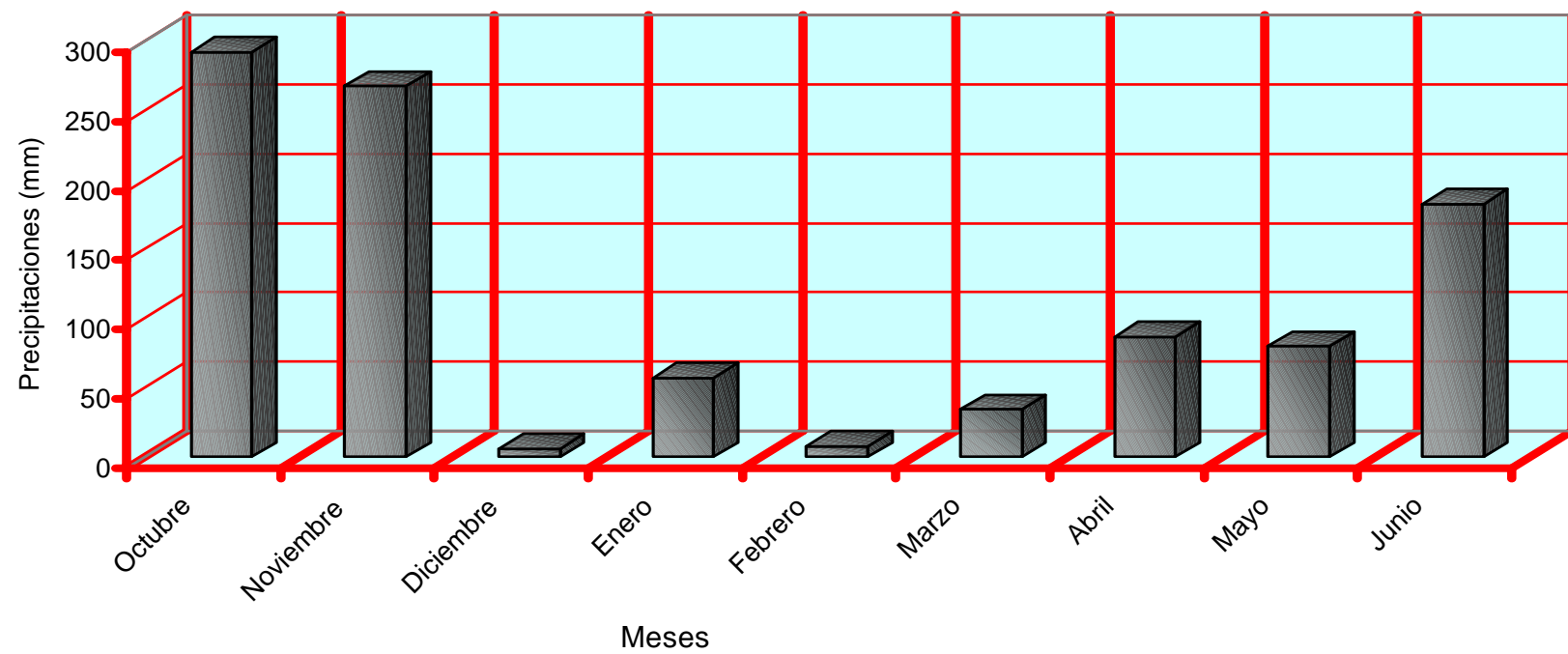
176. Young, A. 1997. Agroforestry for soil management. Second edition. CAB International, Wallingford, UK.

177. Zou, X.; Binkley, D. & Caldwell, B.A. 1995. Effects of dinitrogen – fixing trees on phosphorus biogeochemical cycling in contrastin forest. Soil Sci. Soc. of American J. 59:5.

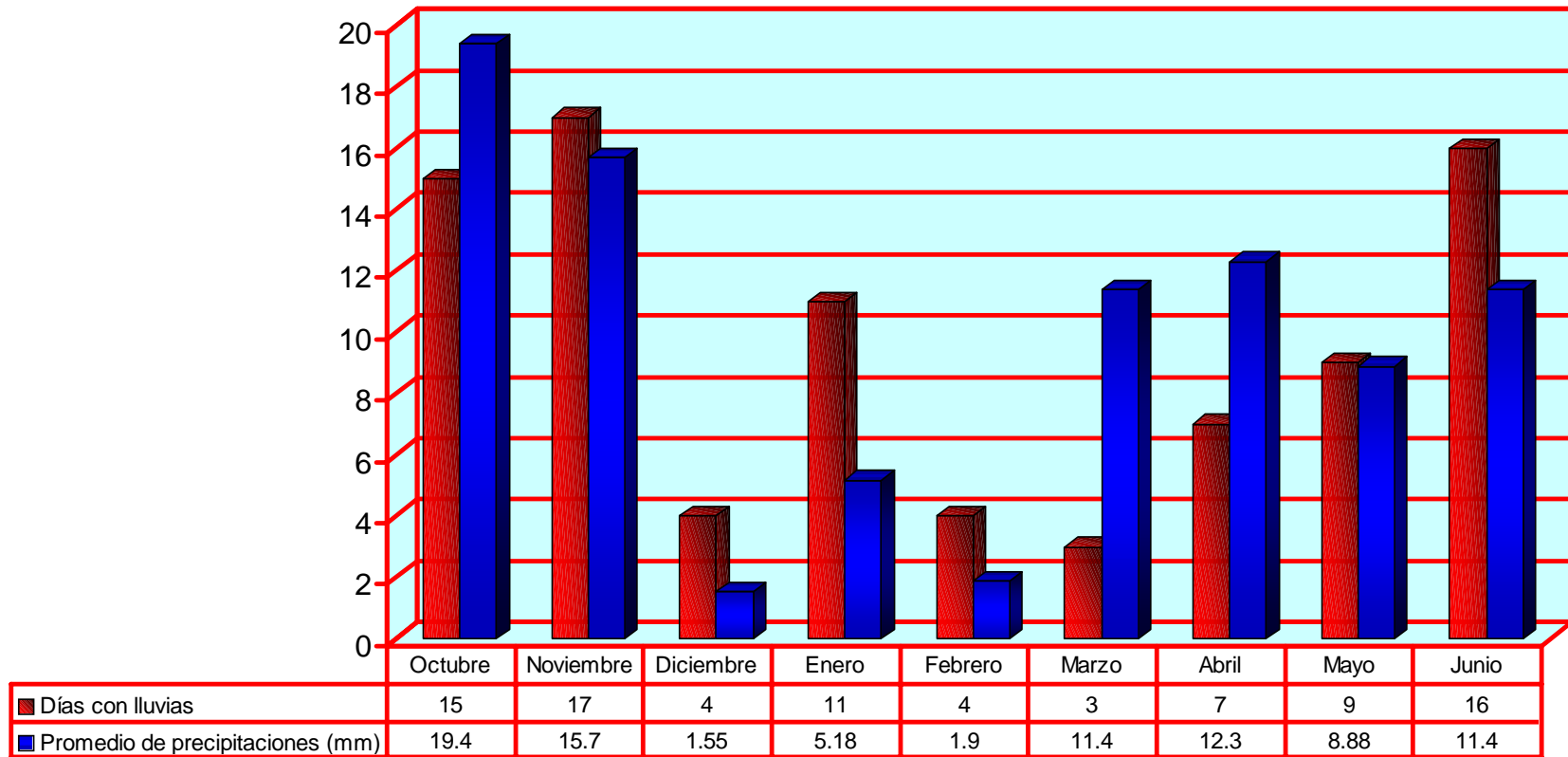
ANEXOS



Anexo 1. Promedio de temperaturas durante la etapa experimental (°C).



Anexo 2. Promedio de precipitaciones por meses durante la etapa experimental.



Anexo 3. Cantidad de días con lluvias y promedio de precipitaciones por meses.