

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES Y AMBIENTALES DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE BOSQUES
COHORTE 2004 - 2006

**EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES A
TRAVÉS DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO (FÍSICOS
Y QUÍMICOS) EN LA OPERADORA AGRÍCOLA UNIVERSITARIA
JUDIBANA, ESTADO MÉRIDA.**

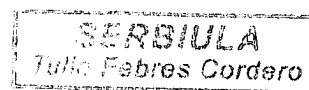
www.bdigital.ula.ve

Ing. Mario E. Dávila P

Tutor

Dra. Omaira Márquez

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de
Magister Scientiae en Manejo de Bosques



Mérida, octubre 2007.

TABLA DE CONTENIDO.

	Pág.
Dedicat6ria	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I. Introducci6n	1
II. Revisi6n Bibliogr6fica	3
III. Hip6tesis	10
IV. Objetivos	11
V. Materiales y M6todos	12
5.1. Ubicaci6n y descripci6n del 6rea de estudio.....	12
5.2. Geolog6a y Geomorfolog6a	12
5.3. Clima	16
5.3.1. Precipitaci6n	16
5.3.2. Evaporaci6n	16
5.3.3. Evapotranspiraci6n Potencial	17
5.3.4. Temperatura	17
5.3.5. Humedad Relativa	17
5.3.6. Insolaci6n	17
5.3.7. Radiaci6n Solar Media	17
5.3.8. Nubosidad.....	18
5.3.9. Vientos	18
5.4. Clasificaci6n Clim6tica y Zona de Vida	18
5.5. Caracter6sticas Generales de los Suelos	18
5.5.1. Reg6menes de humedad y temperatura del suelo	18
5.5.2. Fertilidad de los Suelos	19
5.6. Vegetaci6n Natural y Uso Actual.....	19
5.7. Dise1o del muestreo para la recopilaci6n de informaci6n en el campo.....	20
5.7.1 Muestreo de suelo: (Muestreo estratificado aleatorio)	20
5.7.2. An6lisis de Suelos	20
5.7.3. Descripci6n de las unidades fisiogr6ficas.....	23

5.7.4. Muestreo de la Vegetación. (Determinación de la biomasa).....	24
5.7.4.1. <i>Leucaena</i> y <i>Gliricidia</i>	24
5.7.4.2. Pasto	24
5.8. Análisis de los Datos	25
VI. Resultados y Discusión	33
VII. Conclusiones y Recomendaciones	54
VIII. Referencias Bibliográficas	56

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Ubicación Relativa de la Finca.....	14
Figura 2. Ubicación relativa de los potreros seleccionados para el ensayo.....	15
Figura 3. Diseño y orientación de las parcelas dependiendo del distanciamiento de siembra.....	22
Figura 4. Descripción de las funciones con sus respectivos indicadores para el suelo y la biomasa en el AEPAT.....	27
Figura 5. Valores mínimos, máximos, media, mediana y desviación estandar para los indicadores en el AEPAT.....	29
Figura 6. Gráfico de dispersión y coeficiente de correlación comparando los muestreos entre 20cm y 40cm en los dos periodos.....	35
Figura 7. Gráfica de cajas de todos los tratamientos en el periodo recién pastoreado.....	36
Figura 8. Gráfica de cajas de las asociaciones en el periodo recién pastoreo.....	39
Figura 9. Gráfica de cajas de las unidades fisiográficas en el periodo recién pastoreado.....	39
Figura 10. Gráfica de cajas de todos los tratamientos en el periodo de descanso.....	42
Figura 11. Gráfica de cajas de las asociaciones en el periodo de descanso	45
Figura 12. Gráfica de cajas de las unidades fisiográficas en el periodo de descanso.....	45
Figura 13. Gráfica de cajas de todos los tratamientos en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	49
Figura 14. Gráfica de cajas de las asociaciones en el periodo descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	52
Figura 15. Gráfica de cajas de las unidades fisiográficas en el periodo descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	52

LISTA DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro 1. Distribución de los sistemas en las unidades fisiográficas.....	21
Cuadro 2. Valores asignados a las variables del suelo y la biomasa.....	30
Cuadro 3. Pesos establecidos a las variables del suelo.....	31
Cuadro 4. Pesos establecidos a las variables del suelo y la biomasa....	31
Cuadro 5. Resumen de los análisis de laboratorio para cada variable generados por AEPAT.....	32
Cuadro 6. Análisis de la varianza para todos los tratamientos en el periodo recién pastoreado.....	37
Cuadro 7. Valores de la media y el error estandar para todos los tratamientos en el periodo recién pastoreado.....	37
Cuadro 8. Análisis de la varianza para las asociaciones en el periodo recién pastoreado.....	40
Cuadro 9. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para las asociaciones en el periodo recién pastoreado.....	40
Cuadro 10. Análisis de la varianza para las unidades fisiográficas en el periodo recién pastoreado.....	40
Cuadro 11. Valores de la media y el error estandar para las unidades fisiográficas en el periodo recién pastoreado.....	40
Cuadro 12. Análisis de la varianza para todos los tratamientos en el periodo de descanso.....	43
Cuadro 13. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para todos los tratamientos en el periodo de descanso.....	43
Cuadro 14. Análisis de la varianza para las asociaciones en el periodo de descanso.....	46
Cuadro 15. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para las asociaciones en el periodo de descanso.....	46
Cuadro 16. Análisis de la varianza para las unidades fisiográficas en el periodo de descanso	46
Cuadro 17. Valores de la media y error estandar para las unidades fisiográficas en el periodo de descanso	46

Cuadro 18. Análisis de la varianza para todos los tratamientos en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	50
Cuadro 19. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para todos los tratamientos en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	50
Cuadro 20. Análisis de la varianza para las asociaciones en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto)....	53
Cuadro 21. Valores de la media y error estandar para las asociaciones en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	53
Cuadro 22. Análisis de la varianza para las unidades cartográficas en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	53
Cuadro 23. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para las unidades fisiográficas en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).....	53

DEDICATORIA.

A Dios todopoderoso, a la Virgen de las Causas Difíciles y a la Virgen del Carmen que son la fuente de iluminación de cada paso de mi vida.

A mis queridos padres, gracias a ellos que me dieron la vida y me guiaron por el camino de la humildad. A ustedes con todo el amor del mundo les dedico este triunfo. Dios me los cuide.

Al ser que de Dios me ha enviado para acompañarme y seguir adelante en el fuerte camino de la vida, sin ella no hubiese logrado esta meta. Por eso para ti mi querida, adorada y bella esposa Yvette dedicarte este triunfo es poco para lo que tú te mereces, te mereces es el mundo. Te amo mi amor.

Victor, tienes a tu frente un padre, un espejo, un ejemplo, una guía, un amigo, un hermano en quién siempre debes confiar. Le pido al Señor Jesús, que siempre te ilumine, te cuide y a la virgen que te cubra con el manto para que seas un hombre de bien y con espíritu de superación en la vida, como tu papá. Te amo hijito.

César que esta meta que he culminado te sirva de ejemplo para tu futura y larga vida. Dios te bendiga.

A mis queridísimos hermanos, por ustedes doy la vida, recuerden siempre que a pesar de los encontronazos que ella nos da, familia siempre es familia. Los quiero.

A mis queridas cuñadas, sobrinos y sobrinas, vean en mi más que un cuñado o tío un amigo. Cuenten siempre conmigo.

A la familia Monaza Martínez, les agradezco por recibirme en sus casas y tener plena confianza en mí. Mil gracias.

Leonardo Lugo, quien más que un amigo y colega un hermano en el que siempre he confiado, a usted mil gracias por brindarme su amistad junto a tu esposa.

A los profesores Omaira, Argenis y Clifford, gracias por su asesoramiento.

A mis compañeros de estudio Julio, Mary, Cuss y Juan Carlos, que juntos compartimos el esfuerzo de seguir adelante en la escolaridad.

Para todos mis compañeros de trabajo del Laboratorio de Suelos, del IIAP y de la Facultad de Forestal. Muchísimas gracias amigos.

A mis demás amigos (músicos, compadres, vecinos) que de una u otra forma me ayudaron espiritualmente para culminar esta meta. Eternamente agradecido.

AGRADECIMIENTO.

Quiero agradecer profundamente a las personas, instituciones y dependencias que colaboraron para llevar a cabo este proyecto:

- Centro de Estudios de Postgrado CEP.
- Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado CEFAP.
- Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico CDCHT, por el financiamiento dado bajo el código del proyecto: FO-636-06-01-EM.
- Dirección de Personal. Programa de Adiestramiento y Capacitación. PAC.
- SIPRULA e INPRESIPRULA.
- Tutora: Prof. Omaira Márquez.
- Asesores: Prof. Argenis Mora, Prof. Leonardo Lugo y Prof. Clifford Peña.
- Personal del Laboratorio de Suelos IIAP y Geografía especialmente a: Prof. Guido Ochoa, Sr. Giovanni Chavarri, Ing Isabel de Amaya y Lic. Luis Amaya.
- Grupo de Investigación de Pastos y Forrajes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. (Prof. Ciro Dávila, Ing. Diannelis Urbano, T.S.U. Pedro Moreno, Biólogo Fernando Castro).
- Dr Mark Liebing por enviarme el software AEPAT.
- Sr. Vielma.
- Sr. Armando Dávila de Científica Andina.
- Geógrafo Jorge Manrique.
- Ing. Julio Serrano.
- Personal Obrero y Administrativo de la Operadora Agrícola Universitaria Judibana.

RESUMEN.

La calidad del suelo constituye uno de los principales factores que determinan la sustentabilidad espacio temporal de los agroecosistemas, por ello, su evaluación a partir de las funciones que cumple el suelo, valoradas a través de sus indicadores, permite definir valores límites o umbrales críticos, en los cuales el sistema muestra síntomas de inestabilidad, que se expresan en la disminución de la productividad y en casos extremos el colapso del sistema. En función de lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del suelo a partir de indicadores edáficos para dos sistemas Silvopastoriles, en la finca Judibana de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. El diseño experimental se hizo a partir un muestreo estratificado (8 estratos), aleatorio, definido por: las unidades edáficas (3 unidades), a dos profundidades (0 – 20 cm y 20 – 40cm), la asociación de pasto y especies Forrajeras (*Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*) y la edad del sistema (entre 9 y 12 años), con su respectivo testigo; el muestreo de suelo se realizó en dos etapas, recién pastoreado y después de los 22 días de pastoreado (periodo de descanso). El muestreo de la vegetación se realizó en el periodo de descanso. Para valorar los índices de calidad del suelo y el índice de comportamiento del agroecosistema, se utilizó el software “Agroecosystem Performance Assessment Tool” (AEPAT) y para los análisis estadísticos el software R-Commander. Los resultados indican que los atributos edáficos evaluados a las dos profundidades, no muestran diferencias entre el periodo recién pastoreado y el de descanso ($r = 0,94$ y $r = 0,95$ respectivamente). Con relación a las unidades fisiográficas, se comprobó que la ND4 (Aquic Eutrudepts), presentó el mejor índice de calidad de suelo tanto para el testigo (PND4-12) como para la asociación Leucaena-Pasto (LPND4-10); mientras que la unidad NDEP (Typic Haplustepts), resultó mejor calidad para la asociación (Gliricidia – Pasto). Finalmente, la DC (Typic Ustorthents) presentó el índice de calidad más bajo. Con respecto al índice de comportamiento del agroecosistema, los tratamientos LPND4-9, LPNDEP-12 y GPNDEP-9 ocupan los tres primeros lugares, desplazando al testigo PND4- que en los dos periodos anteriores arrojó el mejor índice de calidad de suelo.

Palabras claves: calidad de suelo, silvopastoril, indicadores edáficos

ABSTRACT.

The soil quality constitutes one of the main factors that determine temporal-space sustainability of the agroecosystem. For knowing that, it is very important to evaluate the function of the soil, through its indicators, that allow how to define the limited values or critic thresholds. In which the system shows instability symptoms, that expresses the decrease of the productivity and in the extreme cases the collapse of the system. According to this function, the objective of this research is to evaluate the quality of the soil based on the edaphic indicators for two (2) silvopasture systems, in the Finca Judibana belong to the Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela. The design of the sampling was stratified in (eight (8) layers), aleatories define in: edaphics unities (3 unities), to two depths (0 – 20 cm and 20 – 40 cm), the association of pasture and forages species (*Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*) and the age of the system (between 9 and 12 years), with its respective witness. The sampling was done in two stages, recent grazing and after 22 days of the grazing (the rest period). The vegetation sampling was done in the rest period. To valuate the quality indexes of the soil and the behaviour indexes of the agroecosystem, was used a software called "Agroecosystem Performance Assessment Tool" (AEPAT) and for statistic analysis was used the R-Commander software. The results indicates that the edaphic attributes evaluated in the two depths, did not show differences among the recent period of grazing and the rest period ($r=0,94$ and $r=0,95$ respectively). In relation to physiographic unities, was proved that the ND4 (Aquic Eutrudepts), presented the major index of soil quality idem for the witness (PND4-12) as for the *Leucaena*-pasture association (LPND4-10), while the unity NDEP (Typic Haplustets) results that has the better quality for the association (*Gliricidia*- pasture). Finally, the DC (Typic Ustorthents) presents the lowest quality index. In respect to behaviour index of the agroecosystem, the treatments LPNDA-9, LPNDEP-12 and GPNDEP-9 occupied the third first places, displacing the PND4- witness that in the first two periods previous, obtained the major index of soil quality.

Key words: soil quality, silvopasture, edaphic indicators.

I. INTRODUCCIÓN.

El suelo, a diferencia del agua y el aire, es un recurso natural sin estándares de calidad definidos, debido a su variabilidad, por lo tanto, es casi imposible establecer una simple medida física, química o biológica que pudiera reflejar adecuadamente la calidad; sin tomar en consideración otros factores que afectan la formación y funcionamiento del mismo. Esto dificulta definir, medir y regular la calidad de este recurso (Bandick y Dick, 1999). Es decir, que la evaluación de la calidad del suelo, o su interpretación, deberían ser consideradas como un proceso a través del cual los recursos edáficos son evaluados sobre la base de sus funciones (aquello que el suelo realiza) y de los cambios en las funciones que surjan en respuesta a un estrés natural o introducido, o de una práctica de manejo (Sheppard et al., 1992, Doran & Parkin 1994, Karlen et al., 1997) y (Singer & Ewing, 2000).

Existen atributos edáficos que pueden ser utilizadas como indicadores del estado o la calidad de un suelo. Estos parámetros deben ser identificados y cuantificados en cada ambiente en particular para poder documentar los cambios que se suceden en el corto y largo plazo, como consecuencia de las prácticas de manejo que se aplican. En ambientes tropicales o subtropicales, frágiles por naturaleza, la determinación y el seguimiento de estos indicadores es fundamental para comprender el funcionamiento del sistema suelo y así poder definir las estrategias más adecuadas para mantener la productividad del sitio en las sucesivas rotaciones.

El desarrollo de indicadores de calidad del suelo debería basarse en el uso de este recurso y en la relación entre los indicadores y la función del suelo que se esté evaluando. Estos indicadores edáficos frecuentemente están poco integrados, ya que evalúan los procesos edafológicos de manera aislada. Para solventar este problema es indispensable tener bien claro el concepto de calidad de suelo, ya que integra e interconecta los componentes y procesos físicos químicos y biológicos, de un suelo en una situación determinada. SQI- Soil Quality Institute. (1996) define la calidad del suelo, simplemente, como la “capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo”.

El estudio de la calidad de suelo permite obtener resultados que son de vital importancia para tomar decisiones en la escogencia de los posibles usos

que se quieran dar, evitando así correr riesgos de establecer sistemas no aptos para el fin perseguido.

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes y el (INIA) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, han desarrollado investigaciones relacionadas con el establecimiento y evaluación de sistemas silvopastoriles en la Zona Sur del Lago del estado Mérida; estas investigaciones han generado suficiente información en producción animal, así como la asociación entre gramíneas y especies forestales forrajeras (*Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*). Sin embargo no se conoce suficientemente la relación que existe entre la producción (animal, forraje, especies arbóreas) y las características de los suelos que pueden ser evaluadas a través del uso de indicadores (físicos y químicos), que permita evaluar la calidad del suelo y de esa manera optimizar en el tiempo y espacio el uso de la tierra.

En sistemas silvopastoriles, la presencia de las leñosas perennes puede contribuir a mejorar la productividad del suelo, y por ende favorecer el desarrollo del estrato herbáceo. Algunos de los mecanismos más importantes son: la fijación de nitrógeno, el reciclaje de nutrientes, la mejora en la eficiencia del uso de nutrientes, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión (Nair 1993) Sin embargo, en muchos sistemas de plantación donde se usan especies herbáceas como cobertura más aún si estas son leguminosas, esos mecanismos pueden funcionar en el sentido inverso (Stur y Shelton 1991; Reynolds 1995).

Los sistemas silvopastoriles en el mundo han sido planteados como una opción sostenible para la ganadería. No obstante, el éxito de su funcionamiento ha sido condicionado al conocimiento que se logre de las interacciones entre sus componentes, y entre estos principalmente el medio ambiente, ya que permite la generación de estrategias de manejo acordes con la ecología del sistema y por lo tanto conduce a mejoras en una o más características, tales como productividad y sostenibilidad, así como también diversos beneficios ambientales. En ese sentido y siguiendo los principios agroecológicos se trata de buscar alternativas de uso de la tierra que conlleve a obtener una productividad más alta por unidad de superficie, sin que se agoten los recursos.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Indicadores para medir la Calidad del Suelo

El mejoramiento y conservación de la fertilidad, productividad y calidad del suelo, es un denominador común entre los elementos estratégicos para alcanzar la sustentabilidad de los agroecosistemas es (Conway, 1994; Acton y Gregorich, 1995; Hansen, 1996).

Según Astier et al, (2001), los investigadores y científicos que toman estas decisiones, requieren de indicadores que proporcionen información sobre el curso que seguirá la evolución de las propiedades del suelo, cuando sea sometido a diferentes condiciones de manejo. Estos indicadores edáficos frecuentemente están poco integrados, ya que evalúan los procesos edafológicos de manera aislada. Diseñar indicadores de calidad de un suelo y medir su valor es de escasa utilidad si no se desarrollan simultáneamente criterios que permiten su interpretación e integración.

En general los indicadores pueden ser interpretados en dos formas: (1) considerando los valores obtenidos para cierto suelo como base de comparación y verificar los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo por efecto del manejo, lo que determina si la calidad aumenta o decrece (Seybold, et al., 1997; Masciandaro y Ceccanti, 1999; Karlen et al., 2001; Saviozzi et al., 2001); y (2) contrastar los valores de los indicadores obtenidos con valores de referencia que se le han asignado a un suelo que funciona a una capacidad deseada (MacDonald et al., 1995; Kettler et al., 2000; Wick et al., 2000; Sánchez-Marañón et al., 2002).

El concepto de calidad de suelo ayuda a resolver estos problemas, ya que integra e interconecta los componentes y procesos químicos físicos y biológicos, de un suelo en una situación determinada.

En los agroecosistemas sustentable, un punto esencial para aplicar el concepto de calidad de suelos es generar estrategias de análisis que den coherencia al concepto y reduzcan el número de indicadores. Es común que se usen más indicadores que los requeridos, y que éstos sean seleccionados de forma sesgada según la disciplina del investigador que los propone (Doran, 1997)

Las definiciones más recientes de calidad del suelo se basan en la multifuncionalidad del suelo y no sólo en un uso específico, pero este concepto continúa evolucionando (Singer y Ewing, 2000). Estas definiciones fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (Karlen et al., 1997) como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

De acuerdo con Sheppard et al., (1992), Doran y Parkin (1994), Karlen et al. (1997) y Singer y Ewing (2000), la evaluación de la calidad del suelo, o su interpretación, deberían ser consideradas como un proceso a través del cual los recursos edáficos son evaluados sobre la base de las funciones del suelo (aquello que el suelo realiza) y de los cambios en las funciones del suelo que surjan en respuesta a un estrés natural o introducido, o de una práctica de manejo. Se han propuesto cinco funciones edáficas vitales. Ellas son: (1) sostener la actividad, diversidad y productividad biológica, (2) regular y particionar el agua y flujo de solutos; (3) filtrar, tamponar (buffering), drenar, inmovilizar y desintoxicar materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo desechos municipales y de la industria; (4) almacenar y posibilitar el ciclo de nutrientes y otros elementos dentro de la biósfera de la tierra; (5) brindar apoyo a estructuras socio-económicas y protección de tesoros arqueológicos asociados a la vivienda humana (Karlen et al. 1997).

Estos componentes son resultado de las funciones que el suelo realiza, por lo cual su calidad puede ser evaluada con base en sus funciones (Howard, 1993; Larson y Pierce, 1994; Karlen y Stott, 1994; Acton y Gregorich, 1995; Doran et al., 1996). También es importante enfatizar que las evaluaciones de la calidad del suelo deben tener en cuenta propiedades y procesos biológicos, químicos y físicos. Para la interpretación, las mediciones deben ser evaluadas con respecto a tendencias a largo plazo o a señales de sustentabilidad. Una secuencia general de cómo evaluar la calidad del suelo es: (1) definir las funciones del suelo en cuestión, (2) identificar procesos edáficos específicos asociados a esas funciones, y (3) identificar propiedades del suelo e indicadores que sean suficientemente sensibles como para detectar cambios en las funciones o procesos del suelo de interés (Carter et al. 1997).

Según Arshad y Coen (1992), los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc.). Para Dumanski et al. (1998) dichos indicadores, no podrían ser un grupo seleccionado para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos. Esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Tal posición no es compartida por algunos autores, quienes sostienen que los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan, como lo ha sugerido Astier et al. (2002).

Hünнемeyer et al. (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

2.2. Sistemas Silvopastoriles.

En América Latina, el cambio de uso de la tierra más importante que se ha observado durante los últimos años ha sido una fuerte reducción de la superficie dedicada a bosques. Aunque, deba señalarse que en la presente década declinado la tasa de deforestación, con respecto a la observada en los sesenta y los ochenta (FAO 1994). La mayor parte del área deforestada ha sido dedicada a pasturas, ya sea directamente, o luego de haber sido usada por un tiempo en cultivos anuales. Si embargo, en los últimos años se ha incrementado el abandono de áreas cubiertas por pasturas, dando paso a los “charrales” o “tacotales”, y eventualmente a los bosques secundarios (Kaimowitz 1996).

La reducción de la cobertura boscosa por si misma ha sido un factor desencadenante del deterioro ambiental, pero el problema se ha visto exacerbado porque más del 50 % de las áreas de pasturas se encuentran hoy en franco proceso de degradación (Pezo et al. 1992; Holmann et al. 1995). Esto es consecuencia de la implementación de prácticas de manejo no racionales (por ej. quemadas no controladas, prácticas de labranza inapropiadas, ausencia

de coberturas vegetales y de otros métodos de conservación de suelos, manejo ineficaz de la fertilidad del suelo, sobrepastoreo) en muchas de las áreas deforestadas. Algunas de las expresiones de dicho deterioro son: la pérdida de la biodiversidad, la compactación y erosión de los suelos, la ruptura del balance hídrico en las cuencas y el incremento en la emisión de gases que contribuyen al calentamiento global (Serrao y Toledo 1990; Pezo e Ibrahim 1996).

En la presente década, muchos países han incorporado el desarrollo sostenible, la liberación de los mercados, y la reducción o eliminación de los subsidios como elementos fundamentales en sus políticas agrarias (Riesco 1992). Esto crea un nuevo marco para los sistemas de producción animal, pues estos no sólo deberán incrementar su productividad para responder a las demandas alimentarias de una población creciente, sino que tendrán que ser cada vez más compatibles con el uso racional de la base de recursos naturales. Deberán también mejorar su eficiencia en términos reales, para hacerlos más competitivos bajo las condiciones de apertura de mercados y contribuir así al mejoramiento del nivel de vida de las familias rurales. Dentro de este contexto, la incorporación de las leñosas perennes (árboles y arbustos) en los sistemas de producción ganadera, es una estrategia que responde a los objetivos anteriormente planteados. Además de su contribución potencial a contrarrestar los impactos ambientales negativos característicos de los sistemas tradicionales, constituye un mecanismo para diversificar las empresas agropecuarias, generar nuevos productos e ingresos adicionales, reducir la dependencia de insumos externos, e intensificar el uso del recurso suelo, sin menoscabo de su potencial productivo a largo plazo (Pezo 1996).

Dentro de los ecosistemas manejados, están los sistemas silvopastoriles. Ringuelet (1998) señala que el manejo de un sistema silvopastoril debe apuntar a lograr los mayores beneficios estabilizados en el tiempo. Esto implica la conservación del ambiente mediante el uso racional de los recursos. En el caso de tener una cobertura forestal, no se debe desperdiciar el "capital del suelo" acumulado (nutrientes y materia orgánica), sino aprovecharlo mediante aperturas de luz por intermedio de podas, raleos, desmontes selectivos e inclusive realizando tala rasa en sectores, pero permitiendo la regeneración forestal para que aporte nueva estabilidad ambiental y acumulación de nutrientes (respetando los árboles semilleros,

favoreciendo el rebrote y replantando). Es indispensable evitar extraer el capital forestal-suelo, al extremo de no poder volver a reconstruir el sistema productivo. Los efectos de los árboles en general sobre las gramíneas son positivos en cuanto al aporte de nutrientes y más bien negativos en cuanto a la luz (menor posibilidad de fotosíntesis).

Los sistemas silvopastoriles asocian diversas formas de la producción animal con árboles, respondiendo a los principios agroecológicos de buscar alternativas de uso de la tierra que conlleven a obtener una mayor productividad por unidad de superficie (Nair, 1991). La sombra de los árboles modifica las condiciones microclimáticas que afectan los procesos biológicos en el suelo, tales como la actividad de los microorganismos (Belsky, 1992). Un proceso central en la dinámica de los nutrientes bajo los sistemas silvopastoriles lo constituye la mineralización de la materia orgánica, el cual es un proceso eminentemente microbiológico. Por esta razón la biomasa microbiana, así como los aspectos relacionados a su actividad (respiración microbiana), se han constituido en una herramienta clave para conocer el potencial de fertilidad de un suelo (Anderson y Joergensen, 1997). Este proceso de mineralización se ve influenciado por diversos factores ambientales como sustrato, temperatura, contenido de agua, pH, etc. (Howard y Howard, 1993).

Dentro de los sistemas agroforestales, probablemente sea el sistema silvopastoril la actividad productiva con más posibilidades de ser desarrollada en muchas partes del mundo, debido a su tradición productora ya existente, al valor del producto animal en el futuro y por los beneficios de una estructura forestal que reduce los costos de mantenimiento de los recursos forrajeros y que permite una ganancia económica, mientras se espera que los árboles alcancen el tamaño adecuado para aprovechar su madera. Independientemente del valor de los árboles por sí mismos (madera, gomas, frutos, etc.), además la estructura arbórea ejerce una acción sobre la actividad ganadera de diversas maneras: (Ringuelet; 1998):

- Modificadora del ambiente para los animales.
- Como forrajera: hojas, ramas tiernas, frutos, flores, hojarasca.
- Modificadora del forraje bajo su influencia.

- Como apoyo a la infraestructura de la actividad ganadera (estantillos, botalones, madrineros, entre otros).

Este sistema de producción presenta una serie de ventajas, entre las más importantes se tienen (Pezo e Ibrahim 1999).

- Pasa de una estructura pastoril o maderera arcaica, a una empresa ganadera-forestal con parámetros cuantificables para la dinámica de la explotación.
- Permite una producción pastoril-ganadera-forestal sostenida en el tiempo y espacio.
- El establecimiento de estos sistemas modelan el paisaje, al producir cambios en la estructura arbórea (implantación de árboles densidad variable en combinación con sabanas o pastos).
- Las actividades pastoril y forestal (sistema silvopastoril), minimizan los procesos de desertificación, con cambios positivos en las actividades socioeconómicas de la región.
- Mantiene y mejora el capital forestal.
- La combinación de actividades pecuarias y forestales, diversifica la producción, amortigua la rentabilidad estacional, crea y mantiene fuentes de trabajo.

Espinoza y Manrique (1998) señalan que, en Venezuela, la integración agrosilvopastoril ha tenido escaso desarrollo y promoción. En la producción vegetal los agricultores le han dado poca importancia a la siembra de especies arbóreas dentro de sus predios; por el contrario, comúnmente tienden a derrumbarlos mediante deforestaciones que dejan el terreno libre de toda vegetación. Esto se debe a que muchos productores desean tener visión a gran distancia de sus potreros o sembradíos, así como también controlar los abigeatos o robos. Paralelamente, debido al lento crecimiento de los árboles, tienden a no otorgarle el valor económico de retorno que realmente poseen.

Recientemente se observa en muchas zonas agropecuarias el uso del *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* como cerca viva, en vista de lo económico, que resulta comparado con los botalones o estantillos. Estas especies incorporan nitrógeno orgánico al suelo, pudiendo fijar hasta 300 kg N/ha/año permitiendo aumentar los rendimientos de las gramíneas asociadas y

disminuir el empleo de fertilizantes nitrogenados (Pezo e Ibrahim, 1999). Además proporcionan sombra, ejerciendo un efecto marcado sobre la tasa de crecimiento de las gramíneas tropicales, prolongando de esta manera el tiempo de pastoreo, incrementando la microfauna en el suelo y es posible que sus raíces retarden la formación de zuros o tatucos, alargando así el periodo de renovación de los potreros. Asimismo, estas especies poseen un sistema radical más profundo que las gramíneas, beneficiando la estructura y la fertilidad química, física y biológica de los suelos, además pueden extraer agua y nutrientes en la época de sequía (Rincón, 2000).

En Venezuela, existe una gran cantidad de leguminosas forrajeras con un gran valor nutritivo que podrían utilizarse en asociación con especies herbáceas para cubrir las necesidades de alimentación de los animales (Reverón, et al, 1986; Sanguino y Herrera 1980). Tal es el caso de la planta de mataratón (*Gliricidia sepium*) que tiene la ventaja que su follaje puede ser suministrado en estado fresco, harina o en forma de heno (Chadhokar 1982, Chadhokar, 1983). A diferencia de la *Leucaena leucocephala* el establecimiento y explotación del mataratón en sistemas de alimentación en el establo, resultan fáciles y más económicos y no es perjudicial incluso consumiéndolo en grandes cantidades (Benacchio 1979, Chadhokar 1982, Smith y Houtert 1987).

La leucaena y el mataratón en Venezuela, pueden ser alternativas que permitirían incrementar la productividad animal y del pastizal. En la cuenca del lago de Maracaibo, (Dávila, et al, 1997) han encontrado resultados positivos, en la evaluación de diferentes ecotipos de leucaena. El mataratón, por su parte, está ampliamente distribuido en esta zona, pero se ha utilizado como cercas vivas y su uso como forrajera es muy limitado.

III. HIPÓTESIS:

1. El suelo es un factor determinante en el comportamiento de las asociaciones silvopastoriles. La variabilidad de las propiedades físicas y químicas del mismo determinan la calidad de los suelos, estableciendo diferentes niveles de productividad.
2. Es posible identificar indicadores edáficos que influyan significativamente en el comportamiento de la asociación *leucaena* - pastos y *Gliricidia* - pastos y en base a ellos, seleccionar un número mínimo de indicadores de calidad de suelo que sean fácilmente medibles y estén ligados a la productividad del sistema.

www.bdigital.ula.ve

IV. OBJETIVOS.

4.1. General:

Evaluar la calidad del suelo a través de indicadores físicos- químicos con fines de producción silvopastoril, en la operadora agrícola universitaria Judibana, Estado Mérida.

4.2. Específicos:

- Determinar valores de algunas propiedades físicas y químicas del suelo.
- Medir el contenido de nutrientes foliares (proteína cruda, materia seca, P, Ca, Mg) para cada asociación del sistema silvopastoril.
- Evaluar la productividad y el comportamiento de los sistemas silvopastoriles *Leucaena* – pasto, *Gliricidia* – pasto y pasto solo, en base a la calidad del suelo.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Ubicación y descripción del área de estudio

La Operadora Agrícola Universitaria Judibana, perteneciente a la Universidad de los Andes, está localizada políticamente en el municipio Alberto Adriani del Estado Mérida, en las cercanías de la ciudad de El Vigía, sector la Pedregosa. (Figura 1).

Geográficamente se ubica en el cuadrante determinado por las siguientes coordenadas:

Latitud Norte: $8^{\circ} 37' 10''$ y $8^{\circ} 37' 26''$

Latitud Oeste: $71^{\circ} 41' 00''$ y $71^{\circ} 42' 22''$

Localizado entre 64 y 73 msnm abarcando una superficie de 254,6 has (Infogeo 2005). Específicamente la investigación se realizó en los potreros donde están establecidas las siguientes asociaciones: (figura 2).

1) *Leucaena* – Pasto:

Potreros: 7-1 (L1), 7-2 (L2)

Potrero: 8 (L3, L4, L5, L6, L7, L8)

Potrero: 9 (L9, L10, L11, L12)

Potrero: 17 (L13, L14)

2) *Gliricidia* – Pasto:

Potreros: 10-1 (G7, G8, G9, G10, G11, G12), 10-2 (G5, G6)

3) Pasto solo:

Potrero: 12 (Testigo sólo pasto)

Las gramíneas asociadas con las arbóreas son: *Brachiaria brizantha*, *B. radicans*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *Ixophorus unisetum* y *Panicum maximum*. (Urbano, et al. 2006).

5.2. Geología y Geomorfología:

Introduciendo los conceptos de clasificación geomorfológica y taxonómica, la ubicación del área de estudio según las distintas categorías desde la más alta a la más baja, es la siguiente: Provincia fisiográfica, el área pertenece a la deposición del Lago de Maracaibo; el segundo taxón geomorfológico, es decir la región fisiográfica, se corresponde con la región sur de la depresión del lago de Maracaibo; el paisaje, en términos generales, se

trata de una transición entre pie de monte andino y la planicie aluvial del río Onia, ligeramente ondulada a plana inclinada con desnivel máximo de 9 m; el relieve es de llanura aluvial de desborde formada por deposiciones del río Onia. A nivel morfológico, la principal base de diferenciación es la forma de acumulación, que en este caso particular se relaciona directamente con la actuación del sistema deposicional del río Onia, el cual en la parte sur, o sea, la más cercana al pie de monte andino, corresponde a la forma de cono-expandaje, cuyos ejes digitados quedan bien caracterizados distinguiéndose un sub-sector ligeramente ondulado y otro plano inclinado constituyendo napas de desborde.

De igual manera, la llanura aluvial no demuestra casi ninguna diferenciación geocronológica, por encontrarse las formas y acumulaciones más viejas fosilizadas bajo espesos mantos de aportes recientes.

www.bdigital.ula.ve

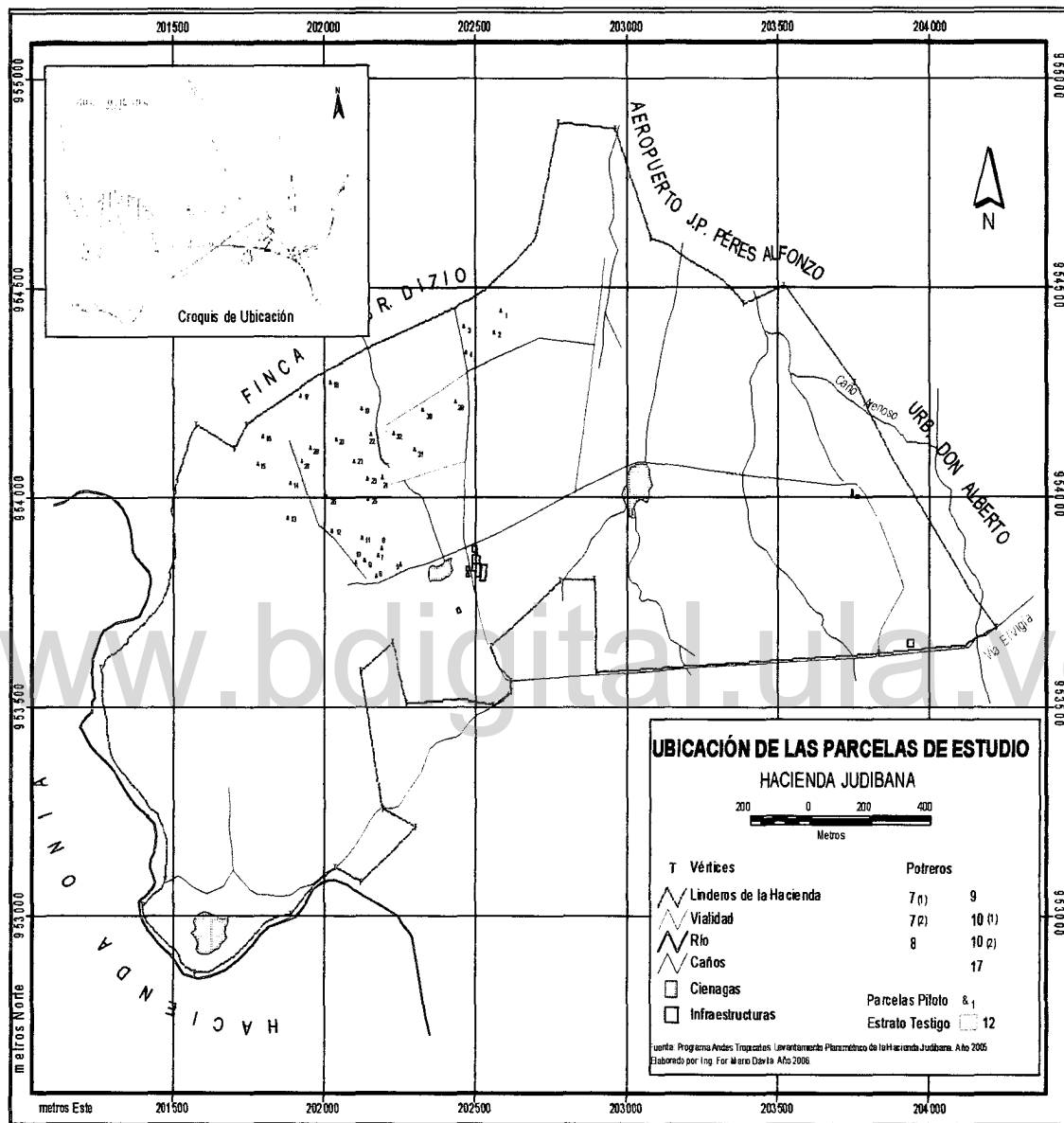


Figura 2. Ubicación relativa de los potreros seleccionados para el ensayo
(Fuente: Mario Dávila, adaptado de Infogeo/Programa Andes Tropicales 2005).

A nivel morfo-cronológico el área la constituyen sedimentos holocénicos (Cuaternario reciente), aportados por el río Onia, material parental proveniente de la ablación de las alteritas del terciario y secundario al piedemonte. Las deposiciones del sector (formas del terreno), tienen una datación Q0 y Q1 que corresponden a las napas sobre explayamiento y a las napas de desborde, respectivamente. Se presentan las posiciones geomorfológicas de cubeta de desborde (Q1) y explayamiento de ruptura (Q0). En esta última el río Onia depositó material grueso bajo una pequeña deposición de material fino. Por último se presentan las formas de dique y dique de difluente colmatados. (Márquez 1989)

5.3. Clima:

La información climática que se suministra corresponde a los registros de la estación El Vigía (M.A.R.N.), Longitud 71° 30' Latitud 8° 37' localizada dentro del área de influencia donde se realizó la investigación. (Márquez 1989).

5.3.1. Precipitación:

El promedio anual es de 1852 mm variando entre un máximo de 2398 mm y un mínimo de 1286 mm.

La variación anual es definida con la determinación de los periodos secos o menos lluviosos y los periodos lluviosos con sus correspondientes meses de ocurrencia. Los meses que presentan los valores más altos de precipitación son: Abril con 222 mm y Noviembre 232 mm. Los meses con los valores más bajos son: Junio y Julio con 113 y 92 mm respectivamente.

5.3.2. Evaporación:

El valor máximo anual es de 1780 mm y el mínimo es de 1281 mm, con una media anual de 1578 mm. En cuanto a la distribución mensual los meses de julio, agosto y septiembre presentan los valores más altos 146, 156, 153 mm respectivamente. Así mismo los valores más bajos se presentan en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre con 112, 107, 122, 128 mm respectivamente.

5.3.3. Evapotranspiración Potencial:

El promedio de (ETP) es de 1262 mm y sus valores anuales oscilan entre 946 mm y 1482 mm. En cuanto a la distribución mensual los meses que presentan los valores mas bajos son: enero (90 mm), en febrero (86 mm), abril (93 mm) y noviembre (98 mm), mientras que los meses con valores mas altos son: julio (117 mm), agosto (125 mm) y septiembre (122 mm).

5.3.4. Temperatura:

La temperatura media anual es de 27.1 °C existiendo una diferencia de temperatura media del mes más cálido y el menos cálido es de 1.5 °C (julio, agosto y septiembre 27.7 °C y diciembre 26.2 °C). El mes de mayor amplitud de variación media es marzo con 3.9 °C y noviembre constituye el mes de menor amplitud con 1.3 °C. La mayores temperaturas máximas medias ocurren en los meses de agosto y septiembre con 33.5 °C y 33.3 °C respectivamente. Las menores temperaturas mínimas medias se dan en los meses de enero (21.9 °C) y febrero (22.3 °C). Los promedios de temperatura máxima y mínima son de 32.0 °C y 23.0 °C respectivamente.

5.3.5. Humedad Relativa:

La humedad relativa es de 82%. Los meses de noviembre, enero y agosto presentan los valores más altos con 84% y 83%, siendo los meses de febrero y marzo los que tienen valores más bajos con 81 y 80 % respectivamente.

5.3.6. Insolación:

El promedio de insolación mensual es de 167.8 horas/sol y diaria es de y 5.6 horas/sol. Los meses comprendidos entre julio y octubre, presentan los mayores registros en el siguiente orden: 191.4, 200.4, 184.6, 183.1 horas/sol y el mes de abril presenta el valor más bajo que es de 123.1 horas/sol.

5.3.7. Radiación Solar Media:

Presenta un promedio diario de 359 cal/cm² /día. El mayor valor se presenta en el mes de septiembre con 412 cal/cm² /día. Los valores más bajos

se encuentran entre los meses de diciembre y enero con 305 y 314 cal/cm²/día respectivamente.

5.3.8. Nubosidad:

Los valores de nubosidad media reflejan poca variación permaneciendo constante en un promedio anual durante los meses de marzo a abril y de junio a diciembre, disminuyendo a 5/8 en los meses de enero, febrero y mayo.

5.3.9. Vientos:

La velocidad media mensual registrada es de 4.7 Km/hora. El promedio mínimo mensual corresponde a los meses de febrero y noviembre con 4.0 y 4.2 Km/hora. Con excepción del mes de abril, las velocidades medias mensuales no presentan grandes variaciones (entre 4.0 y 4.8 Km/hora). La dirección prevaleciente es de N – NE en los meses de enero, septiembre noviembre y diciembre y de N – NW para los meses de febrero, marzo, mayo y agosto.

5.4. Clasificación Climática y Zona de Vida:

De acuerdo a la revisión realizada por (Márquez 1989), la clasificación climática y las zonas de vida del área de estudio son:

Según Holdridge: Se clasifica como una zona de vida Bosque Húmedo Tropical (Ewel y Madrid, 1968).

Según Sánchez Carrillo: Está comprendido en el Meso Clima Sub-húmedo

Según Thorntwaite: Presenta un clima clasificado como Húmedo Megatérmico, con grandes excedentes de humedad.

Según Koppen: El clima se clasifica como Selva Tropical Lluviosa con lluvias durante casi todo el año.

5.5. Características Generales de los Suelos:

5.5.1. Regímenes de humedad y temperatura del suelo:

El clima atmosférico y el clima del suelo son diferentes pero existe una relación directa entre ambos, reguladas por las condiciones climáticas y la toposecuencia del paisaje. La mayoría de las plantas son afectadas bien sea por deficiencia o por defecto de agua en el suelo.

Cuando el agua se presenta en exceso (suelo saturado), la disponibilidad de oxígeno decrece y la actividad de las raíces es afectada. Cuando el suelo está

seco (el agua es retenida a tensiones mayores de 15 atm), el agua es fuertemente retenida por las partículas y las plantas no tiene suficiente suplencia para llevar a cabo sus procesos metabólicos normales.

Los regimenes de humedad; los balances hídricos, la caracterización mensual de la precipitación para la estación El Vigía, indican que en el área estudiada, la sección control del suelo está húmeda en algunas de sus partes por un período consecutivo mayor de nueve meses. Este régimen de humedad es definido como “Régimen de Humedad Udico”, el cual es típico de la zona del Sur del Lago Maracaibo.

La temperatura del suelo es un factor importante en los procesos químicos que se llevan a cabo en el suelo y juega un papel muy importante en el crecimiento de las plantas y en actividad biológica en el suelo. La zona estudio tiene una temperatura media anual del suelo mayor de 22 °C y presenta una diferencia menor de 5 °C entre los meses mas frescos y los meses mas calurosos, por lo tanto, el área presenta un régimen de temperatura del suelo clasificado como “Isohipertermico”. (Márquez 1989).

5.5.2. Fertilidad de los Suelos:

En líneas generales los suelos son de texturas franco a franco arcillosa, ácidos con pH ligeramente bajo, niveles bajos de fósforo y de mediana a baja fertilidad; presentan problemas por drenaje superficial, con tendencia a mostrar signos de erosión reticular. Desde el punto de vista pedogenético son de incipiente evolución, encontrándose los órdenes Entisoles e Inceptisoles. (Dávila y Urbano 1996).

5.6. Vegetación Natural y Uso Actual:

Se conservan muy pocos relictos de su vegetación natural. El bosque ha sido fuertemente deforestado para dar paso al establecimiento de pastizales, quedando en los potreros solamente los individuos seleccionados como sombra para el ganado como es el caso del samán.

Actualmente, por las características propias del uso ganadero, presenta un pastizal conformados por variedades introducidas de *Brachiaria brizantha*, *B. radicans*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *Ixophorus unisetum* y *Panicum maximum*, entre otras. Además, esta establecido un sistema silvopastoril donde

involucra especies arbóreas forrajeras, como *Griricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, asociado con gramíneas.

5.7. Diseño del muestreo para la recopilación de información en el campo:

5.7.1 Muestreo de suelo: (Muestreo estratificado aleatorio).

Sobre el mapa de las unidades fisiográficas y uso de la tierra de la finca (Márquez, 1989). Se realizó un diseño estratificado aleatorio. La población objeto a estudio se dividió en 8 estratos definidos por: las unidades fisiográficas, los sistemas silvopastoriles con asociaciones de pasto y especies forrajeras (*Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*). Igualmente se consideró la edad de establecimiento de las asociaciones, y un potrero testigo (cuadro 1). Cada estrato fue dividido en 4 cuadrantes, dentro de ellos se seleccionó aleatoriamente 1 parcela de 20 m² (figura 3), dando como resultado 4 replicas por estrato es decir 32 parcelas en total. La orientación es la misma de los hilos de siembra y fueron colocadas en el área efectiva (hilos de siembra en el medio de las parcela). En cada una de ellas, se tomaron aleatoriamente 6 sub-muestras a dos profundidades (0 – 20 cm y 20 – 40 cm), que luego fueron mezcladas para obtener muestras compuestas. El muestreo se realizó en un solo periodo de rotación (44 días) pero en dos etapas (recién pastoreado y los 22 días después del pastoreo, es decir, de la mitad del periodo de descanso en adelante). Por cada etapa se tomaron 64 muestras compuestas dando un total de 128 muestras que posteriormente fueron trasladadas al laboratorio para realizar los análisis físicos y químicos correspondientes.

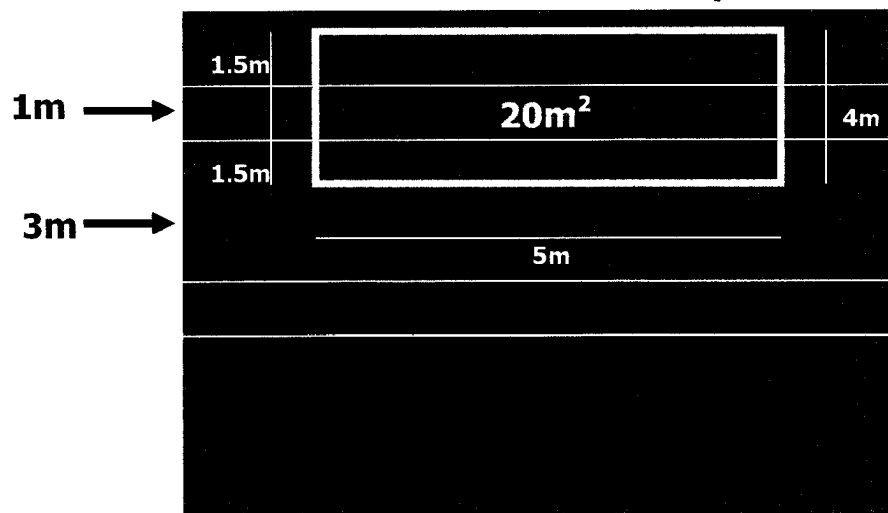
5.7.2. Análisis de Suelos.

Usando la metodología sugerida del “Manual de Métodos de Referencias para el Análisis de Suelos para Diagnostico de Fertilidad” (MAC – FONAIAP, 1990), se realizaron los siguientes análisis: químicos: (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, acidez intercambiable) y físicos: (textura, densidad aparente, retención de humedad).

Cuadro 1. Distribución de los sistemas en las unidades fisiográficas.

Potreros	Asociación	Edad (años)	Superficie (ha)	Unidades Fisiográficas
7(1)	Leucaena + Pasto	9	1	NDEP
7 (2)	Leucaena + Pasto	9	1	ND4
8	Leucaena + Pasto	10	3	ND4
9	Leucaena + Pasto	8	5	DC
10 (1)	Mataratón + Pasto	9	6	NDEP
10 (2)	Mataratón + Pasto	9	3	ND-4
17	Leucaena + pasto	12	3	NDEP
12 (Testigo)	Pasto	12	4	ND4

Potreros con distanciamiento de la plantación 3 x 1



Potreros con distanciamiento de la plantación 4 x 1

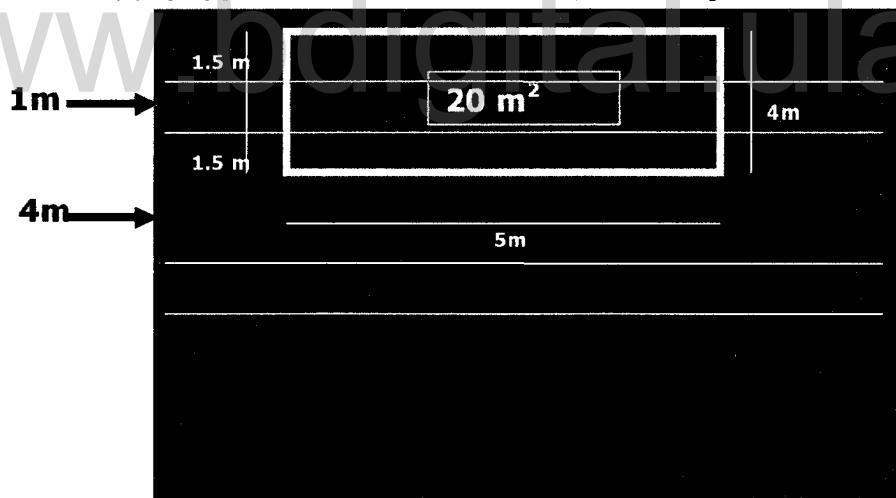


Figura 3. Diseño y orientación de las parcelas dependiendo del distanciamiento de siembra (3 x 1 y 4 x 1). Fuente: Mario Dávila.

5.7.3. Descripción de las unidades fisiográficas.

NDEP: Corresponde a los suelos que ocupa la posición geomorfológico de napa de desborde sobre explayamiento de ruptura, es decir una división del río Onia depositando material de granulometría gruesa (cantos rodados y piedras angulares), que luego fue recubierto por sucesivas deposiciones de material fino. El relieve es ligeramente ondulado, microrelieve liso, pendiente general 4%. La unidad no es inundable ya que quedo protegida de las esporádicas inundaciones del río Onia al concluirse la obra de control de los picos de creciente de este río. Los suelos son de moderadamente e bien drenados, permeabilidad moderadamente rápida, nivel de mesa de agua no presente. Ocurren encharcamientos eventuales en las zonas más deprimidas susceptibles a ser mejoradas a nivel de las parcelas.

Entra las características físicas más resaltantes se encuentra la presencia de materia grueso o granzón a profundidad variable entre 45 y 135 cm, ocupando mas del 40% del volumen de suelo y presentando forma redondeada (cantos rodados) y angulares de tamaño hasta de 20 cm de diámetro y no meteorizados, de colores variados (blancos, negros, marrón y verduzcos). Los horizontes subyacentes al granzón, no contienen material grueso sino solamente materia fino de texturas medianas: franco limosa, franco arcillo limosa, franco arcillosa y franca). Presentan estructura blocosa subangular débil y fina sobre grano simple; consistencia friable sobre suelta; adhesivo y plástico. La retención de humedad aprovechable en los horizontes superiores, es de moderada a alta. Clasificación taxonómica: pertenece al orden de los Inceptisoles y al sub-grupo de los Typic Haplustepts.

DC: esta unidad ocupa la posición geomorfológica de dique colmatado de difluente, localizada marginalmente al curso del río Onia, vecina del explayamiento. Presenta un relieve plano inclinado, microrelieve liso, pendiente de 2%. Son suelos de bien a excesivamente drenados, permeabilidad moderadamente rápida a rápida; unidad no inundable debido a la obra de control de creciente del río Onia. Son suelo jóvenes de poco desarrollo pedogenético con perfil tipo A/C. Todo el perfil se encuentra afectado por material grueso de forma redondeada (cantos rodados) y angulares, no descompuesto, cuyo tamaño y cantidad va aumentando con la profundidad alcanzando valores de hasta 20 cm de diámetro; en los primeros horizonte el

tamaño se reduce a 1 cm, en promedio, el volumen ocupado supera el 35%. La textura superficial es franco arenosa que luego pasa a arenosa en los estratos inferiores; el tipo textural es arenoso, familia arenosa/areno esquelética, color marrón y marrón amarillento; el color de la arena gruesa se va afectado por el material grueso (cuarzo, granzoncillo) de color blanquecino, verdusco y negro; estructura que tiende a blocosa subangular sobre grano simple; consistencia muy friable y suelta no adhesiva y no plástica. Baja retención de humedad aprovechable. Clasificación Taxonómica: forman parte del grupo que corresponde al orden de los Entisoles y al sub-grupo del Typic Ustorthents

ND-4: Ocupa la posición geomorfológica de napa de desborde en posición topográfica baja con relación a las unidades vecinas. El relieve es plano, microrelieve liso con cierta incidencia de tatucos y con una pendiente de 4%. Los suelos son de imperfectamente a pobremente drenados (permeabilidad moderadamente lenta). Perfil hidromórfico con moteado gris y rojizo amarillento. Ocurren encharcamientos por exceso de agua de lluvia pero no inundable. Dentro de las características físicas resaltantes tenemos: Texturas medianas a pesadas (franco arcillo limosa y arcillo limosa). Estructura blocosa subangular débil y fina, consistencia friable, color marrón oscuro y marrón amarillento. Capacidad de retención de humedad alta. Clasificación taxonómica: pertenecen al orden de los Inceptisoles y al sub-grupo Aquic Eutrudepts

5.7.4. Muestreo de la Vegetación. (Determinación de la biomasa).

El muestreo de la vegetación se realizó siguiendo la metodología sugerida por (Urbano, et al. 2006).

5.7.4.1. *Leucaena* y *Gliricidia*: Se seleccionaron 3 plantas al azar en cada parcela y simulando el ramoneo del ganado, se cosecharon las hojas y tallos tiernos (forraje) de cada planta, se peso el material por separado para obtener el peso fresco, se secaron en estufa a 70° C durante 48 horas para determinar la materia seca (MS), se mezclaron para obtener muestras compuestas por parcela y luego fueron sometidas a sus respectivos análisis foliares (PC, P, Ca, K y Mg), siguiendo la metodología sugerida por Horwitt 1952.

5.7.4.2 Pasto: simultáneamente con el muestreo de las especies forrajeras, en cada parcela se colocó aleatoriamente una sub parcela de 1 m² de donde se

recogió el material verde, se pesó para obtener el peso fresco, se secaron en estufa a 70° C durante 48 horas para determinar el % de materia seca (MS). Posteriormente fueron sometidas a sus respectivos análisis foliares (PC, P, Ca, K y Mg), usando la metodología sugerida por Horwitt 1952

5.8. Análisis de los Datos:

Se aplicaron estadísticas descriptivas para cada una de las variables de suelo y de producción forrajera en los dos sistemas estudiados. Los diferentes agroecosistemas fueron valorados usando el software "Agroecosystem Performance Assessment Tool" (AEPAT), versión 1.1 (Mark et al., 2004). El programa requiere establecer para el agroecosistema las funciones específicas del suelo y de la biomasa y dentro de ellas categorizar los indicadores (figura 4) asignándoles valores óptimos, límites máximos y mínimos, dependiendo de: el tipo de indicador (superior es mejor, bajo es mejor o valor del umbral) y al tipo de curva que se quiera representar (lineal, exponencial, sigmoideal, logarítmica, dependiendo del tipo de indicador que se escoja en la sección anterior). Usando la ecuación matemática escogida para cada indicador el programa determina un índice de valoración entre (0 y 1) siendo 1 el mejor y 0 el peor (figura 5).

Posteriormente, se le asignan pesos a las variables en base al cien por ciento, dependiendo de la importancia relativa de cada una de ellas.

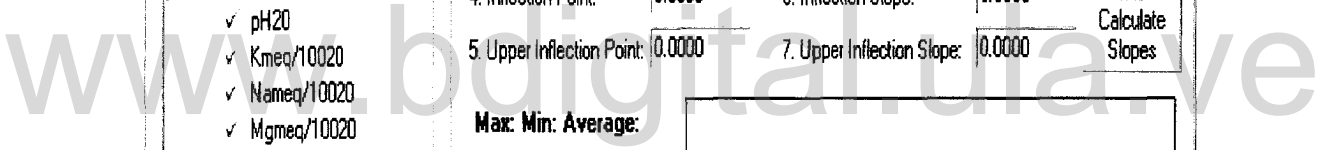
Bajo esta premisa, para el suelo se seleccionaron tres funciones relacionadas con la fertilidad: biológica, física y química. Según Etchevers et al., (2000), la biológica relacionada estrechamente con la biomasa microbiana principal motor de la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales así como del reciclaje de la misma. Los sub productos de su acción influyen de forma directa en las propiedades químicas (como el nitrógeno y el fósforo) y físicas de los suelos, por lo que dicha acción no puede evaluarse de manera independiente. Propiedades químicas como la capacidad amortiguadora y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) reducen la posibilidad de cambios drásticos en el pH y de las concentraciones de cationes en el suelo. Propiedades Físicas tales como la estructura, la porosidad, densidad y la capacidad de retención de agua, permiten un crecimiento y desarrollo adecuado de las partes subterráneas de las plantas y, en consecuencia, de las aéreas, al evitar algún estrés fisiológico. Las

propiedades biológicas se relacionan con las propiedades físicas como la agregación, y con las químicas, como la capacidad de intercambio iónico y la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, un suelo fértil debe definirse de manera más comprehensiva e integral, como aquel que conserva las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables mientras que abastece adecuadamente de agua y nutrientes y provee sostén mecánico para las plantas.

Para la biomasa se seleccionaron dos funciones relacionadas con la producción de leguminosas (*Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*) y la producción de gramíneas.

A continuación se describen las funciones seleccionadas para el suelo y la biomasa con sus respectivos indicadores:

1. Fertilidad Biológica: Materia Orgánica (MO), Nitrógeno(N) y Fósforo (P).
2. Fertilidad Física: arena (a), Limo (L), Arcilla (A), Humedad Aprovechable (HA), Densidad aparente (Da).
3. Fertilidad Química: Reacción del suelo (pH), Bases Intercambiables (K, Mg, Na, Ca), Acidez intercambiable (H, AL), Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE).
4. Producción de leguminosa: Materia Seca (MS). Proteína Cruda (PC), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Fósforo (P).
5. Producción de gramínea: Materia Seca (MS). Proteína Cruda (PC), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Fósforo (P).



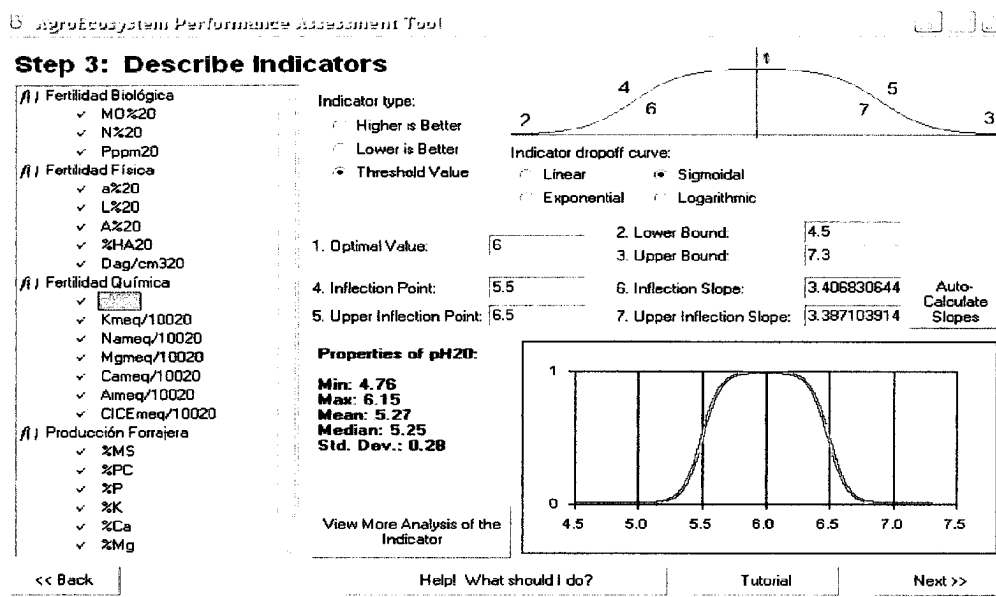
27

El cuadro 2 refleja los valores óptimos, límites máximos y mínimos que fueron asignados a las variables del suelo y la biomasa. Los cuadros 3 y 4 presentan los pesos establecidos para las variables tanto para suelo, como para suelo y la biomasa juntos. Esta información resultó de la consulta con expertos, de los resultados propios de esta investigación, de la revisión bibliográfica en cuanto a exigencias de suelo de las especies evaluadas.

Finalmente, los valores score (índices) para cada tratamiento, periodo y asociación, obtenidos con el AEPAT, fueron analizados estadísticamente a través del Análisis de Varianza (ANOVA), Gráficas de cajas, Pruebas de Medias, y Correlación Lineal usando el programa estadístico R commander. (Fox, 2005).

El gráfico de cajas permite comparar las distribuciones de grupos, lo cual es posible debido a que permite conocer la variabilidad que existe en cada uno de ellos. No da únicamente una medida de tendencia central (la mediana) para cada uno de los grupos, sino que a su vez permite ver fácilmente si las distribuciones presentadas por ellos son semejantes (Matute 1992).

A



B

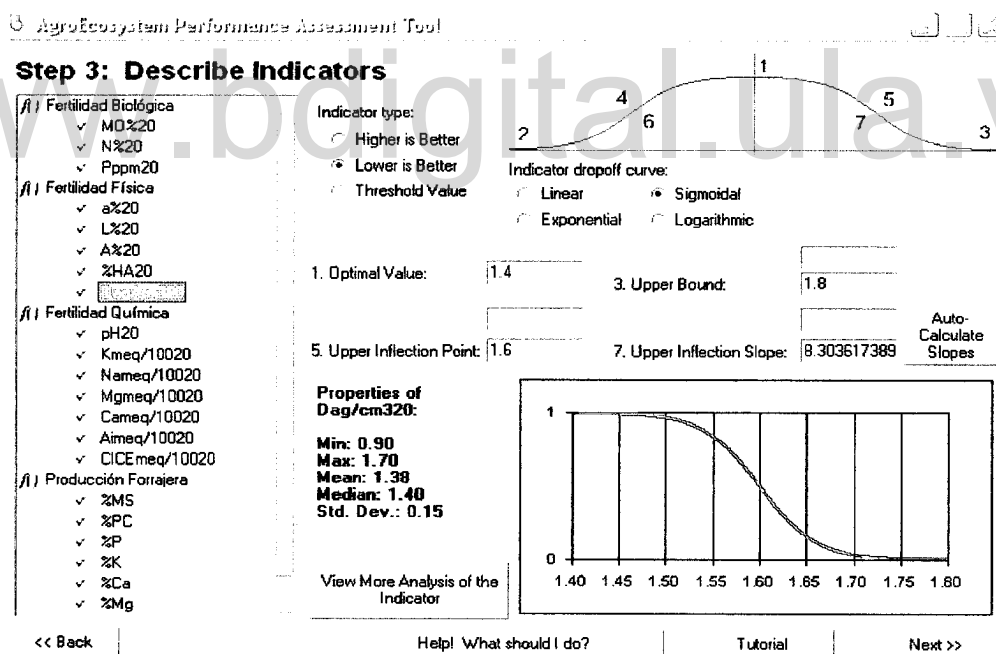


Figura 5. Valores mínimos, máximos, media, mediana y desviación estandar para los indicadores (A pH 20cm y B Da 20cm) en el AEPAT. Fuente: (AEPAT), versión 1.1 (Mark et al., 2004).

Cuadro 2. Valores asignados a las variables del suelo y la biomasa

Indicadores para suelo	Valor Óptimo	Límite Superior	Límite Bajo	Punto de Inflexión	Pto. Inflexión Superior	Ecuación Matemática
%MO	4.2		1.5			Lineal
%N	0.2		0.09			Lineal
Ppm P	12		2	9		Sigmoidal
%a	35		70			Lineal
%L	45		68			Lineal
%A	20		40			Lineal
%HA	60		25	40		Sigmoidal
Da g/cm3	1.4	1.8		1.6		Sigmoidal
pH	6	7.3	4.5	5.5	6.5	Sigmoidal
K meq/100g	0.3		0.07			Lineal
Na meq/100g	0.70		0.10			Lineal
Mg meq/100g	3		1.6			Lineal
Ca meq/100g	10		3			Lineal
Ai meq/100g	0.2	1.2		0.5		Sigmoidal
CICE meq/100g	22		5	15		Sigmoidal
Leguminosa						
%MS	35		20	30		Sigmoidal
%PC	22		15	19		Sigmoidal
%Ca	2.14		0.30	1.22		Sigmoidal
%K	2.5		0.64	1.8		Sigmoidal
%Mg	0.23		0.13	0.18		Sigmoidal
%P	0.37		0.23	0.30		Sigmoidal
Pastos						
%MS	27		20	24		Sigmoidal
%PC	7		5	6		Sigmoidal
%Ca	0.2		0.1	0.15		Sigmoidal
%K	1.8		0.8	1.3		Sigmoidal
%Mg	0.2		0.1	0.15		Sigmoidal
%P	0.3		0.25	0.28		Sigmoidal

Cuadro 3. Pesos establecidos a las variables del suelo.

Función	Indicador	Ponderación (%)	Sub-Total (%)
Fertilidad Biológica 45%	MO	30	100
	N	30	
	P	40	
Fertilidad Física 20%	A	20	100
	L	10	
	A	20	
	HA	30	
	Da	20	
Fertilidad Química 35%	Ph	10	100
	K	20	
	Na	10	
	Mg	10	
	Ca	20	
	Ai	20	
	CICE	10	
100%			

Cuadro 4. Pesos establecidos a las variables del suelo y la biomasa.

Función	Indicador	Ponderación (%)	Sub-Total (%)
Fertilidad Biológica 20%	MO	30	100
	N	30	
	P	40	
Fertilidad Física 10%	a	20	100
	L	10	
	A	20	
	HA	30	
	Da	20	
Fertilidad Química 20%	pH	10	100
	K	20	
	Na	10	
	Mg	10	
	Ca	20	
	Ai	20	
	CICE	10	
Producción de Leguminosa 25%	MS	20	100
	PC	20	
	Ca	15	
	K	15	
	Mg	15	
	P	15	
Producción de Gramíneas 25%	MS	20	100
	PC	20	
	Ca	15	
	K	15	
	Mg	15	
	P	15	
100%			

Cuadro 5. Resumen de los análisis del laboratorio para cada variable generados por el AEPAT

	Fertilidad Biológica			Fertilidad Física					Fertilidad Química						
Valores	% (MO)	%(N)	ppm(P)	%(a)	%(L)	%(A)	%(HA)	(Da)g/cm3	pH	K meq/100	Na meq/100	Mg meq/100	Ca meq/100	Al meq/100	CICE meq/100
Mediana	2.40	0.14	3.13	33.81	43.97	22.22	9.73	1.40	5.25	0.14	0.08	1.53	7.22	0.47	9.44
Máximo	5.41	0.20	12.00	68.00	55.00	35.00	17.41	1.70	6.15	0.32	0.15	2.47	20.00	1.20	22.50
Mínimo	0.14	0.07	0.00	13.00	22.00	10.00	0.48	0.90	4.76	0.04	0.01	0.49	3.28	0.20	4.69
Media	2.31	0.15	2.00	34.00	45.00	21.00	9.84	1.38	5.25	0.13	0.09	1.46	6.33	0.40	7.89
Des. Estandar	1.03	0.03	3.55	10.97	7.25	4.72	4.04	0.15	0.28	0.06	0.04	0.51	3.42	0.22	3.71
	Producción de leguminosa						Producción de Pasto								
Valores	%(MS)	%(PC)	%(P)	%(K)	%(Ca)	%(Mg)	%(MS)	%(PC)	%(P)	%(K)	%(Ca)	%(Mg)			
Mediana	28.74	17.13	0.33	1.31	0.88	0.19	27.60	7.19	0.35	1.78	0.16	0.15			
Máximo	42.30	21.88	0.89	20.20	1.60	0.27	42.30	9.73	0.89	2.73	0.48	0.24			
Mínimo	20.30	6.34	0.23	0.64	0.10	0.13	20.00	4.88	0.25	0.80	0.06	0.09			
Media	28.90	18.38	0.32	1.25	1.07	0.19	27.80	6.78	0.32	1.75	0.14	0.14			
Des. Estandar	5.29	4.25	0.11	0.32	0.45	0.03	4.51	1.41	0.11	0.53	0.08	0.04			

VI. Resultados y Discusión.

El cuadro 5, permite visualizar el estado nutricional en que se encuentran los indicadores que fueron seleccionados, tanto del suelo como de la biomasa. Al analizar las medias para todos los indicadores del suelo, se observa que la Materia Orgánica, Nitrógeno y fósforo que forman parte de la fertilidad biológica, presenta valores bajos (2.31%, 0.15% y 2.00 ppm respectivamente). Los porcentajes de arena (34.00%), limo (45%) y de arcilla (21.00%) clasifican a los suelos texturalmente como franco limosos. Con respecto a la fertilidad química, la reacción de suelo medida a través del pH, reporta una media de 5.16 (moderadamente ácido), los cationes intercambiables potasio y sodio presentan valores bajos (0.13 me/100 y 0.09 me/100 respectivamente), el magnesio es mediano (1.46 me/100) y el valor del calcio de 6.33 me/100 siendo de mediano a alto. Al respecto Dávila y Urbano (1997) han reportado valores semejantes que interpretan la fertilidad de suelo de mediana a baja.

Referente a la biomasa se observa que las medias de MS, entre la producción de leguminosa y la de pasto, los valores son similares (28.90 y 27.80 % respectivamente), en cambio al comparar las medias del PC, se observa que los valores de producción es mayor en las leguminosas (18.38%) que en los pastos (6.78%). Al respecto Razz et al, (1995) y Ruiz et al. (1998) han reportado valores similares de proteína cruda (17.71%) y de pasto solo de (7.4%). Los valores obtenidos de (P, K, Ca y Mg) son semejantes tanto para la producción forrajera como para la producción de pastos.

La figura 6 muestra dos gráficos de dispersión, uno para el periodo recién pastoreado (figura 6-A) y el otro para periodo de descanso (figura 6-B) donde se establece la relación lineal entre el índice de calidad de suelo obtenido entre las profundidades de 0-20 y 20-40 cm. Se observa una relación lineal significativa entre ambos índices de calidad de suelos, indicando que los atributos edáficos evaluados a las dos profundidades, no muestran diferencias entre los dos periodos ($r = 0.94$ y $r = 0.95$ respectivamente). Esto significa que en los sistemas evaluados el suelo cumple sus funciones indistintamente a una profundidad entre 0 y 20 cm. Al respecto Bertsch (1998), señala que no existe una profundidad ideal,

lo importante es conocerla y por lo menos tener certeza que supera las exigencias de desarrollo radical de las plantas.

Para la comparación del comportamiento de los agroecosistemas estudiados, los resultados fueron analizados siguiendo los siguientes escenarios:

I- Utilizando indicadores de calidad de suelo.

Escenario uno: Periodo recién pastoreado (RP).

Escenario dos: Periodo de descanso (PD).

II- Utilizando indicadores de calidad de suelos más la producción forrajera

Escenario tres: Foliares más Periodo de descanso (FPD)

Escenario uno: Periodo recién pastoreado (RP).

La figura 7 muestra que dentro de los 8 agroecosistemas evaluados, el testigo (PND4-12; representado por pasto solamente), es el que presenta mejor índice de calidad de suelo (Aquic Eutrudepts), con mediana de 55%, a pesar de tener la mayor variabilidad, respecto a los demás. Si se observan las asociaciones Leucaena – Pasto, el tratamiento LPND4-10, sobre suelos Aquic Eutrudepts es el que tiene mejor mediana (42%), lo cual constituye el de mejor calidad de suelo para este sistema. Respecto al grupo de Gliricidia – Pasto, el tratamiento GPND4-9, sobre suelos Typic Haplustepts, fue el mejor valorado (mediana 50%) en comparación con el GPND4-10 (suelos Aquic Eutrudepts) que presentó una mediana de 38%.

A pesar de existir medianas diferentes con relación a la calidad del suelo, el análisis de la varianza detectó, que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P = 0.085$) a un nivel de significancia de 5% (Cuadro 6). El tratamiento que obtiene la media más alta es el PND4-12 (testigo) con un valor de 61.59% y error estandar de $\pm 10.22\%$ corroborando la mejor valoración del sistema desde el punto de vista de calidad de suelo. El valor más bajo lo presentó el tratamiento LPND4-12 con una media de 30.59% y un error estandar de $\pm 2.46\%$ (Cuadro 7).

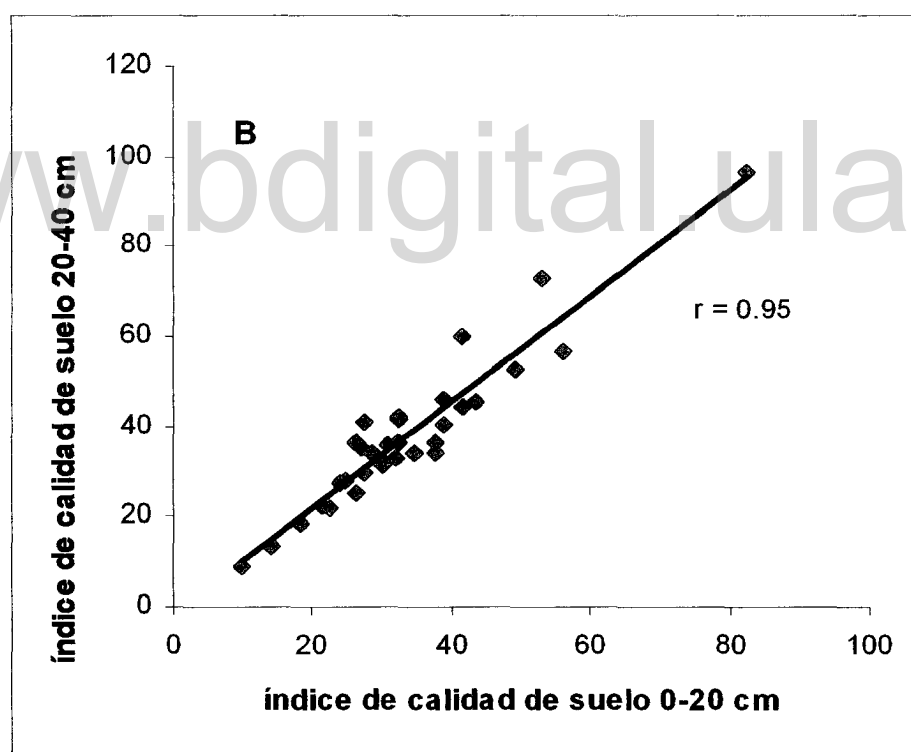
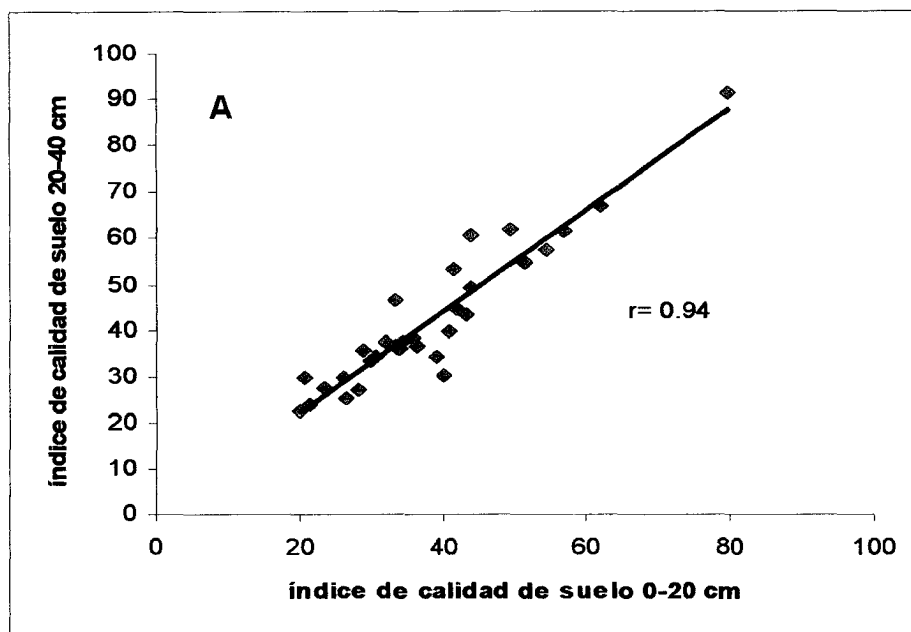


Figura 6. Gráfico de dispersión y coeficiente de correlación comparando los muestreos entre 20cm y 40cm en los dos periodos. (A recién pastoreado y B periodo de descanso).

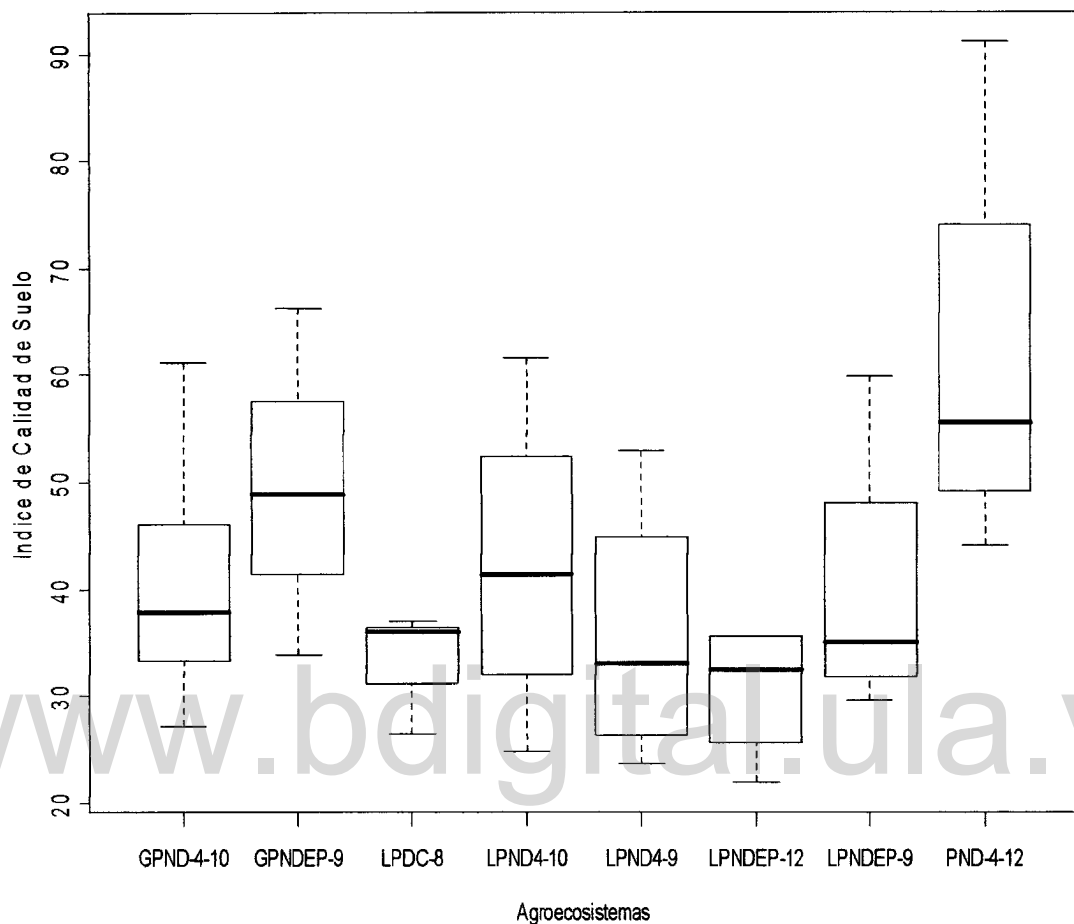


Figura 7. Gráfica de cajas de todos los tratamientos en el periodo recién pastoreado. GPND4-10 (*Gliricidia* Pasto Napa de Desborde (4) diez años), GPNDP-9 (*Gliricidia* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 9 años), LPDC-8 (*Leucaena* Pasto Dique Colmatado 8 años), LPND4-10 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde (4) 10 años), LPND4-9 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde (4) 9 años), LPNDP-12 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 12 años), LPNDP-9 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 9 años), PND4-12 (Pasto Napa de Desborde (4) 12 años, testigo).

Cuadro 6. Análisis de la varianza para todos los tratamientos en el periodo recién pastoreado.

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	7	2675.8	382.3	2.0819	0.08544
Residuos	24	4406.6	183.6		

Cuadro 7. Valores de la media y el error estandar para todos los tratamientos en el periodo recién pastoreado.

Tratamientos	Media	Error Estandar
PND4-12	61.59	± 10.22
GPND4-9	49.64	± 9.39
LPND4-10	42.22	± 7.57
GPND4-10	41.09	± 5.88
LPND4-9	39.87	± 6.83
LPND4-9	35.65	± 6.37
LPDC-8	33.81	± 3.22
LPND4-12	30.59	± 2.46

Para observar con mayor claridad la variabilidad y la mediana entre los tratamientos, se analizaron por separado las asociaciones (pasto-*leucaena*, pasto- *gliricidia* y pasto solo) y las unidades fisiográficas (NDEP, ND4 y DC).

Como se observa en la figura 8 el testigo (pasto solo), sigue teniendo mejor comportamiento por lo tanto mejor índice de calidad de suelo, debido a que presentó mayor mediana (56%) aunque con mayor variabilidad. La asociación *Gliricidia*-pasto se comportó mejor que la de *Leucaena*-pasto, de tal manera que el comportamiento es similar a la gráfica anterior donde se encuentran todos los tratamientos.

El análisis de la varianza reporta que existen diferencias altamente significativas ($P = 0.004$) entre las asociaciones tal cual como lo refleja el cuadro 8.

Con respecto a la media y al error estandar, los valores mayores lo sigue reportando el pasto solo ($61.59\% \pm 10.22\%$ respectivamente), luego la asociación *Gliricidia*-pasto y por último la de *Leucaena*-pasto. Al haber diferencias altamente significativas, se realizó el análisis de comparaciones múltiples de medias (método tukey) resultando tres grupos diferentes donde el pasto resultó con mejor índice de calidad de suelo (Cuadro 9).

Analizando las unidades fisiográficas en la figura 9, el mejor comportamiento lo presenta la unidad ND4 en suelo (Aquic Eutrudepts) con mayor mediana de 45% a pesar de ser el que presenta mayor variabilidad. Por lo tanto demuestra tener el mejor índice de calidad de suelo en comparación con las otras dos unidades. La unidad DC en suelo (Typic Ustorthents), es la de más baja variabilidad y tiende a presentar una mediana similar a la unidad NDEP en suelo (Typic Haplustepts).

El cuadro 10 demuestra estadísticamente que no hay diferencias significativas entre las unidades fisiográficas ($P = 0.351$). En este caso el valor más alto de la media y el error estandar, le correspondió a la unidad cartográfica ND4 con 44.90 ± 4.15 , como se observa en el Cuadro 11.

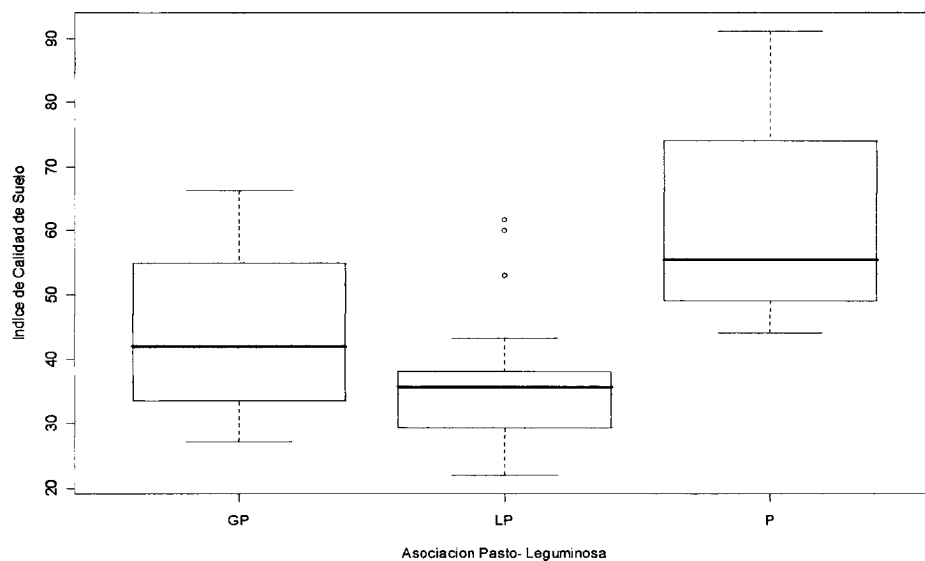


Figura 8. Gráfica de cajas de las asociaciones en el periodo recién pastoreo GP (*gliricidia*-pasto), LP (*leucaena*-pasto) y P (Pasto).

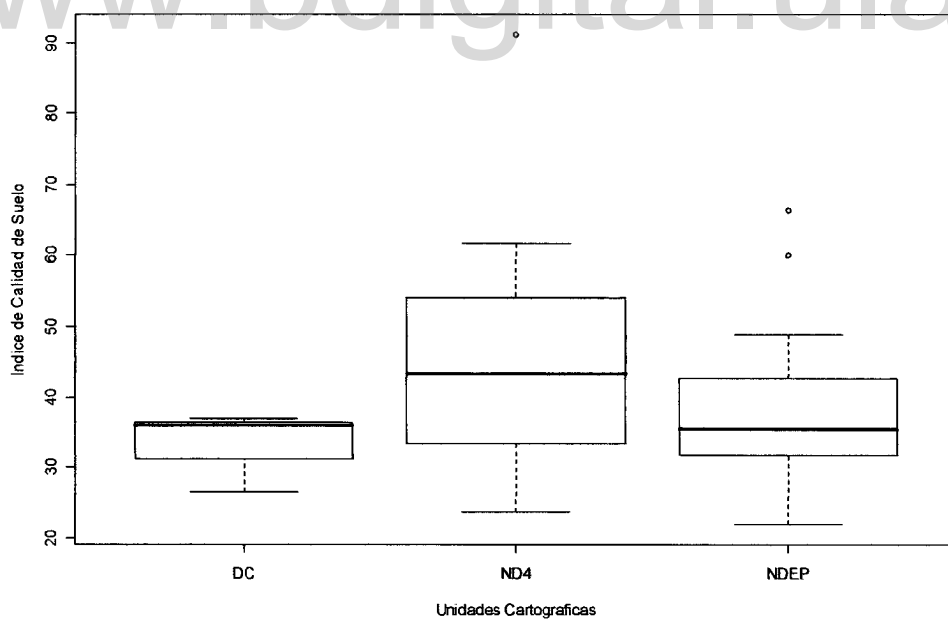


Figura 9. Gráfica de cajas de las unidades fisiográficas en el periodo recién pastoreado. DC (Dique Colmatado), ND4 (Napa de Desborde4), NDEP (Napa de Desborde sobre Explayamiento).

Cuadro 8. Análisis de la varianza para las asociaciones en el periodo recién pastoreado.

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	2	2191.1	1095.5	6.4953	0.004667**
Residuos	29	4891.3	168.7		

Cuadro 9. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para las asociaciones en el periodo recién pastoreado.

Asociaciones	Media		Grupos	Error Estandar
P	61.59	a	I	± 10.22
GP	44.29	a	b	± 4.92
LP	36.43		b	± 2.44

Cuadro 10. Análisis de la varianza para las unidades fisiográficas en el periodo recién pastoreado.

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	2	493.3	246.6	1.0855	0.3511
Residuos	29	6589.1	227.2		

Cuadro 11. Valores de la media y el error estandar para las unidades fisiográficas en el periodo recién pastoreado

Asociaciones	Media	Error Estandar
ND4	44.90	± 4.15
NDEP	39.16	± 4.08
DC	33.81	± 2.46

Escenario dos: Periodo de descanso (PD).

Al comparar el escenario dos con el anterior, se presentan resultados similares como lo muestra la figura 10. El testigo PND4-12 sigue comportándose como el mejor tratamiento debido a que presentó mejor índice de calidad de suelo con una mediana de 52%, a pesar de mostrar la mayor variabilidad. Analizando solo el agroecosistema Leucaena – Pasto, los tratamientos LPND4-9, LPND4-10 y LPDC-8, presentan variabilidades similares, sin embargo el LPDC-8 en suelos Typic Ustorthents, muestra la menor mediana, catalogándose como el peor índice de calidad de suelo. Los demás tratamientos tienen medianas similares. Sin embargo, destaca que la variabilidad en los atributos evaluados es menor, con relación al período recién pastoreado. El GPNDP-9 sobre suelos Typic Haplustepts, del grupo de las gliricidias, posee el mejor índice de calidad de suelo y es el segundo de mayor mediana entre todos los tratamientos. Cabe destacar que los índices de calidad de suelo mostraron un ligero descenso en comparación con el período anterior a excepción de GPNDP-9, LPNDP-12 y PND-4-12, esto refleja el dinamismo temporal de los atributos edáficos entre los dos períodos evaluados.

Estadísticamente entre todos los tratamientos las diferencias fueron altamente significativas ($P = 0.009$) en comparación con el período anterior que no hubo diferencias, demostrando que en tan corto tiempo el índice de calidad de suelo varía ligeramente, en sus atributos edáficos entre un período y otro (cuadro 12). El testigo (PND4-12), sigue presentando el mayor valor de la media (62.6%) con un error estándar de ± 11.48 confirmando el mejor índice de calidad de suelo para este agroecosistema. Posteriormente le sigue el tratamiento GPNDP-9 con media de 51.7% y error estándar de ± 11.02 demostrando que el comportamiento es igual si lo comparamos con el período recién pastoreado. Como hay diferencias altamente significativas se realizó la comparación de medias múltiples por el método tukey, como se observa en el cuadro 13, resultando tres grupos diferentes.

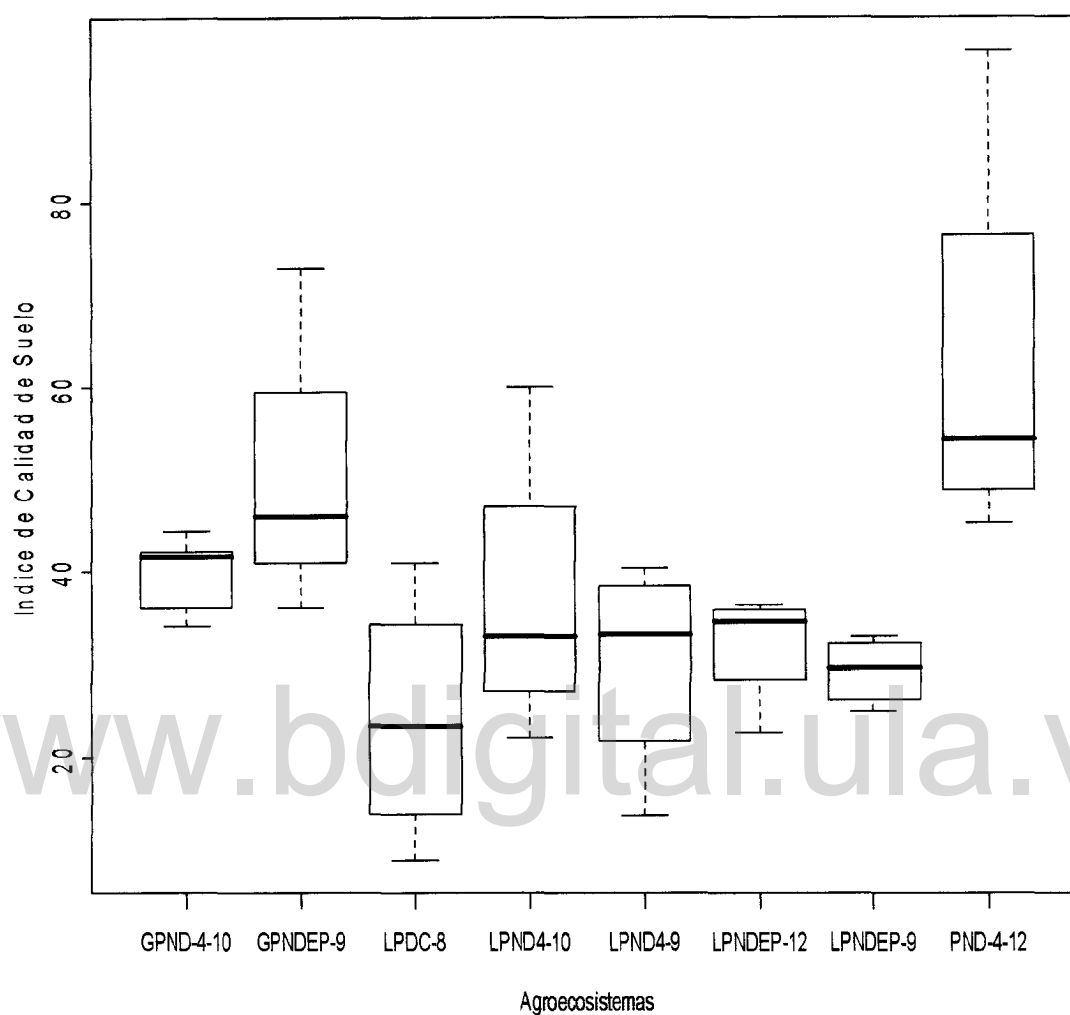


Figura 10. Gráfica de cajas de todos los tratamientos en el periodo de descanso. GPND4-10 (*Gliricidia* Pasto Napa de Desborde (4) diez años), GPNDEP-9 (*Gliricidia* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 9 años), LPDC-8 (*Leucaena* Pasto Dique Colmatado 8 años), LPND4-10 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde (4) 10 años), LPND4-9 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde (4) 9 años), LPNDEP-12 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 12 años), LPNDEP-9 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 9 años), PND4-12 (Pasto Napa de Desborde (4) 12 años).

Cuadro 12. Análisis de la varianza para todos los tratamientos en el periodo de descanso.

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	7	4471.0	638.7	3.5545	0.009197**
Residuos	24	4312.7	179.7		

Cuadro 13. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para todos los tratamientos en el periodo de descanso.

Tratamientos	Media		Grupos	Error Estandar
PND4-12	62.6	a	I	± 11.48
GPND4-9	51.7	a	b	± 11.02
GPND4-10	39.7	a	b	± 1.95
LPND4-10	37.1	a	b	± 8.05
LPND4-12	32.1		b	± 3.15
LPND4-9	30.1		b	± 5.85
LPND4-9	29.3		b	± 1.85
LPDC-8	24.1		b	± 6.8

De igual manera en este periodo, se analizaron por separado las asociaciones (LP, GP y P testigo), así como las unidades fisiográficas (ND4, NDEP, DC) para observar con mayor claridad si hay o no diferencias entre ellos.

Como se ve en la figura 11, el pasto solo (P) mantiene el mismo comportamiento: mayor mediana 58 % y mejor índice de calidad de suelo a pesar de presentar la mayor variabilidad. La diferencia está en que la asociación (LP) presenta mayor variabilidad que la (GP) ocurriendo todo lo contrario en el periodo anterior, pero manteniéndose la mayor mediana para el (GP) de 42 %.

El cuadro 14 muestra que existen diferencias altamente significativas con un ($P = 0.0002$). Una media de 62.65% y error standart de $\pm 11.49\%$ clasifican al pasto (P) con los valores más altos y la asociación (LP) con los valores más bajos de ($30.54\% \pm 2.44\%$). Al hacer las pruebas de comparaciones de medias, se formaron tres grupos diferentes como lo muestra el cuadro 15.

La figura 12 de las unidades fisiográficas refleja que hay mayor variabilidad en la unidad (DC) pero con la mediana mas baja de 25 % en comparación con las otras dos. La unidad (ND4) presenta mayor mediana de 40%, siendo el mejor índice calidad de suelo de dentro de esta categoría.

Referente al análisis estadístico en el cuadro 16 se observa que no hay diferencias significativas entre las unidades fisiográficas arrojando un ($P = 0.141$) indicando que el comportamiento de estas unidades, el similar si lo comparamos desde el punto de vista estadístico con el periodo anterior. Los valores más altos de la media 42.23% con un error estandar de $\pm 4.40\%$, le corresponden a la unidad ND4, ratificando que esta unidad fisiográfica se mantiene con el mejor índice de calidad de suelo en esta clase. Los valores más bajos los reporta la unidad DC con media de 24.08% y error estandar de ± 6.84 (cuadro 17).

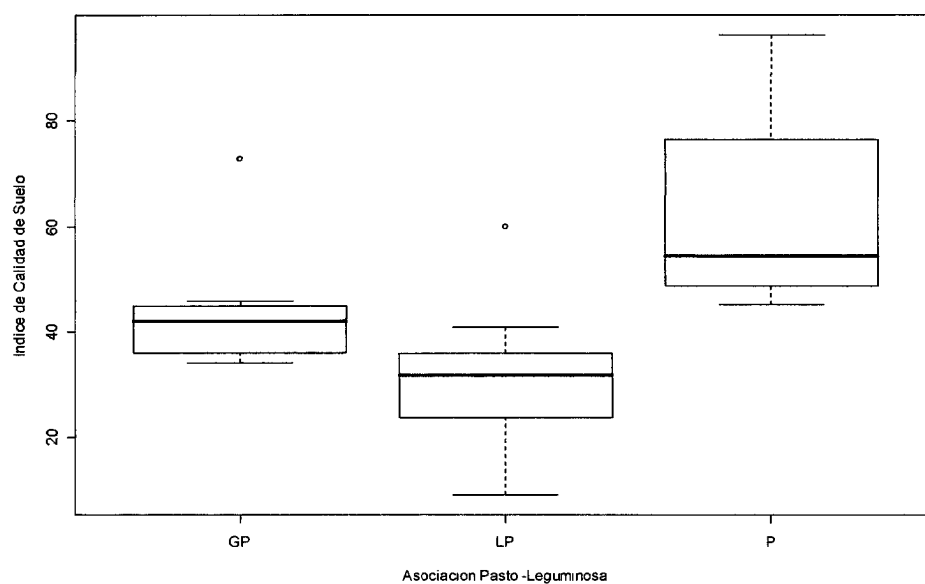


Figura 11. Gráfica de cajas de las asociaciones en el periodo de descanso GP (*Gliricidia* Pasto), LP (*leucaena* Pasto), P (Pasto).

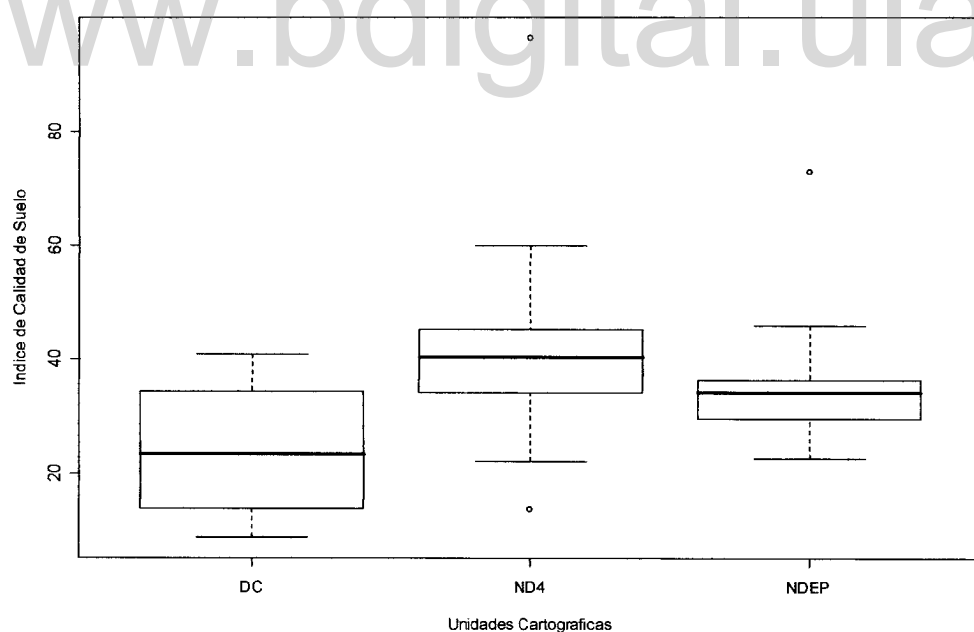


Figura 12. Gráfica de cajas de las unidades fisiográficas en el periodo de descanso. DC (Dique Colmatado), ND4 (Napa de Desborde4), NDEP (Napa de Desborde sobre Explayamiento).

Cuadro 14. Análisis de la varianza para las asociaciones en el periodo de descanso

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	2	3848.5	1924.2	11.307	0.0002342***
Residuos	29	4935.2	170.2		

Cuadro 15. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para las asociaciones en el periodo de descanso

Asociaciones	Media		Grupos	Error Estandar
P	62.65	a	I	± 11.49
GP	44.19	a b	II	± 4.37
LP	30.54	c	III	± 2.44

Cuadro 16. Análisis de la varianza para las unidades fisiográficas en el periodo de descanso

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	2	1107.0	553.5	2.0909	0.1418
Residuos	29	7676.7	264.7		

Cuadro 17. Valores de la media y error estandar para las unidades fisiográficas en el periodo de descanso

Asociaciones	Media	Error Estandar
ND4	42.23	± 4.40
NDEP	36.42	± 4.11
DC	24.08	± 6.84

Escenario tres: Foliares más Periodo de descanso (FPD)

La interpretación y el análisis de los resultados donde se incluye la biomasa (leguminosa y pasto), se hizo tomando en cuenta solamente el periodo de descanso, debido a que el muestreo de la vegetación fue realizado en ese periodo.

En la figura 13 se observa que la gráfica de caja cambia rotundamente al compararla con el periodo de descanso sin incluir la biomasa. En este caso la valoración se realizó en base al tratamiento que presentó el mejor índice de comportamiento del agroecosistema logrando esta posición los tratamientos LPND4-9, LPNDEP-12 y GPNDEP-9 con medianas de 50%, 47% y 45% respectivamente, desplazando al testigo PND4-12 que presenta una mediana de 42% y con mayor variabilidad que en los periodos anteriores. Estos resultados demuestran la ventaja que proporciona la inclusión del componente arbóreo (leguminosas) a los sistemas tradicionales de pastoreo con solo gramíneas. Los sistemas silvopastoriles (leguminosa - pasto) difieren de los basados en el monocultivo de gramíneas en que la productividad (en términos de cantidad y calidad de biomasa) incrementan con el tiempo. Además son una fuente de proteína requerida por el animal que los pastos (gramíneas) no le proveen en las cantidades que necesita (Molina, et al. 2001). En investigaciones realizadas por (Urbano, et, al. 2006) señalan, que en los rendimientos de las leguminosas arbóreas, hay mayor oferta en leucaena (445 kg MS/ha/ciclo) que en gliricidia (375,2 kg MS/ha/ciclo), con una utilización de estas especies superior al 80%.

Esta gráfica demuestra, que la asociación *Leucaena*- pasto se comporta mejor en la unidad fisiográfica ND4 en suelos (Aquic Eutrudepts) mientras que la *Gliricidia* – pasto en la unidad fisiográfica NDEP sobre suelos (Typic Haplustepts).

Los análisis estadísticos arrojaron datos que permiten confirmar lo señalado en la gráfica anterior. En el cuadro 18 se observa que hay diferencias altamente

significativas entre los tratamientos con un ($P = 0.008$). Los que presentaron mejor valor de la media con su respectivo error estandar son el tratamiento LPND4-9 con $48.84\% \pm 3.83\%$ y el LPNDEP-12 con $46.56\% \pm 2.13\%$ demostrando de esta manera que son los que presentan mejor índice de comportamiento en el agroecosistema. Al hacer el análisis de comparaciones de medias por existir diferencias altamente significativas, se generaron 4 grupos diferentes entre todos los tratamientos como se ve en el cuadro 19.

www.bdigital.ula.ve

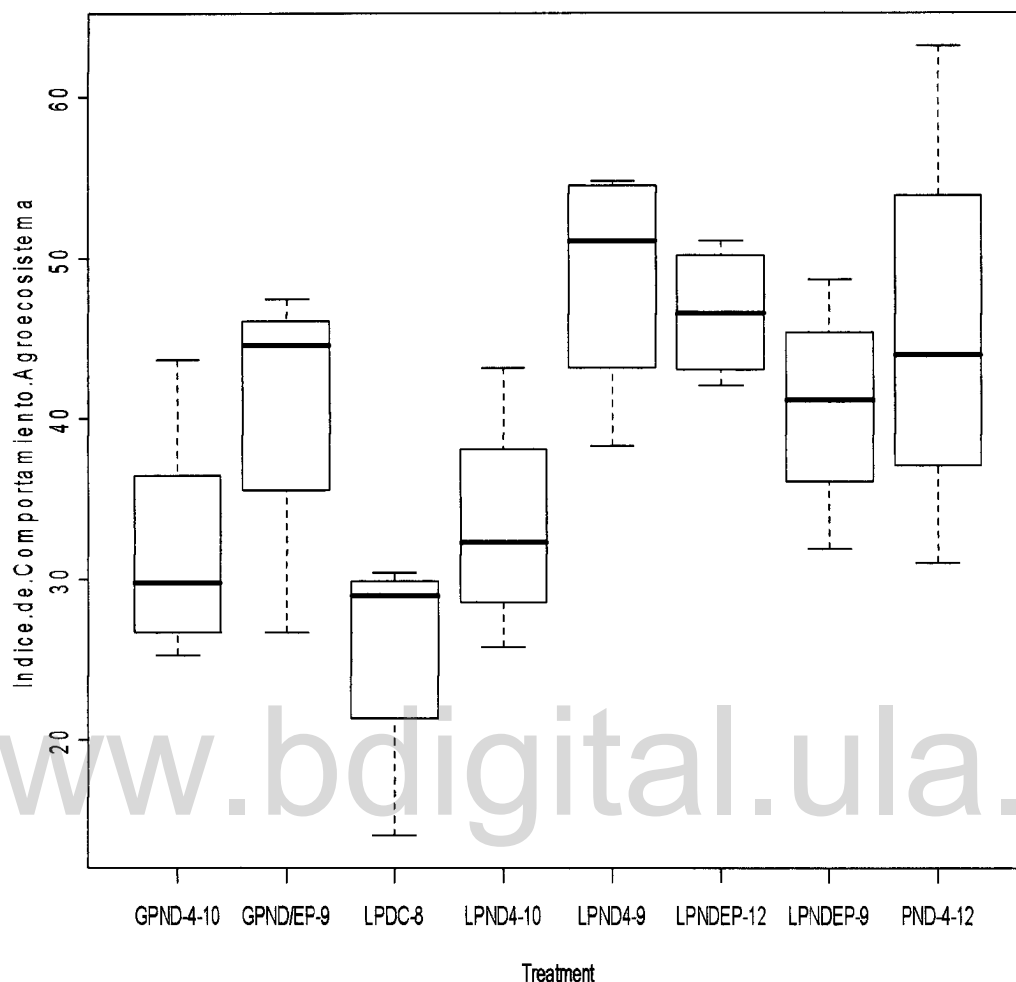


Figura 13. Gráfica de cajas de todos los tratamientos en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto). GPND4-10 (*Gliricidia* Pasto Napa de Desborde (4) diez años), GPND/EP-9 (*Gliricidia* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 9 años), LPDC-8 (*Leucaena* Pasto Dique Colmatado 8 años), LPND4-10 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde (4) 10 años), LPND4-9 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde (4) 9 años), LPNDEP-12 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 12 años), LPNDEP-9 (*Leucaena* Pasto Napa de Desborde sobre Explayamiento 9 años), PND4-12 (Pasto Napa de Desborde (4) 12 años).

Cuadro 18. Análisis de la varianza para todos los tratamientos en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto)

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	7	1861.47	265.92	3.6971	0.007515**
Residuos	24	1726.27	71.93		

Cuadro 19. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para todos los tratamientos en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).

Tratamientos	Media	Grupos			Error Estandar
LPND4-9	48.84	a		I	± 3.83
LPNDEP-12	46.56	a	b	II	± 2.13
PND4-12	45.51	a	b	c	± 6.63
LPNDEP-9	40.73	a	b	c	± 3.45
GPNDEP-9	39.55	a	b	c	± 6.51
LPND4-10	33.36	a	b	c	± 3.63
GPND4-10	32.39	a	b	c	± 3.42
LPDC-8	25.6		c	IV	± 3.85

Para analizar con más detalle los resultados obtenidos como se hizo en los dos periodos anteriores, se analizaron por separado las asociaciones (LP, GP y P solo) de las unidades fisiográficas (ND4, NDEP, DC). La figura 14 muestra las medianas y las variaciones entre las tres asociaciones, se observa que el pasto (P) tiene la mayor mediana de 44% siguiéndole la asociación (LP) aunque con poca diferencia 42%, esto es debido a, que al promediar las asociaciones *Leucaena* - pasto incluye la de más baja mediana que es las (LPDC-8). Entre las (GP) y (LP) presenta mejor índice de comportamiento del agroecosistema la asociación (LP) con mediana de 42%. La variabilidad tiende a ser semejante entre las tres asociaciones.

El cuadro 20 muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las tres asociaciones obteniéndose un valor de ($P = 0.292$), Con respecto a la media y a su error estandar la asociación que alcanza el mayor valor con $45.61\% \pm 6.63\%$ es el testigo (P), confirmando que en esta clase obtiene el mejor índice de comportamiento del agroecosistema (cuadro 21). Entre las otras dos la asociación LP obtiene la mejor media ($39.02\% \pm 2.39\%$) que la asociación GP ($35.07\% \pm 3.22\%$).

Al analizar las unidades fisiográficas que se reflejan en la figura 15 se deduce que la (NDEP) alcanza el mejor índice de comportamiento del agroecosistema por presentar mayor mediana de 45% y menor variabilidad. El segundo lugar de índice lo logra la unidad (ND4) con mediana de 38% y ocupando el tercer lugar la unidad (DC) con mediana de 29%.

La gráfica muestra que existen diferencias significativas entre las tres unidades, tal cual como lo indica el análisis de varianza (cuadro 22) que arrojó un ($P = 0.018$).

Para ratificar lo expresado en la figura anterior, el cuadro 23 permite observar que la unidad cartográfica (NDEP) logra obtener la mayor media con valor de $42.53\% \pm 2.24\%$ de error estandar. El análisis de comparaciones de medias efectuado por presentar diferencias significativas, logró aglomerar las unidades cartográficas en 3 grupos diferentes

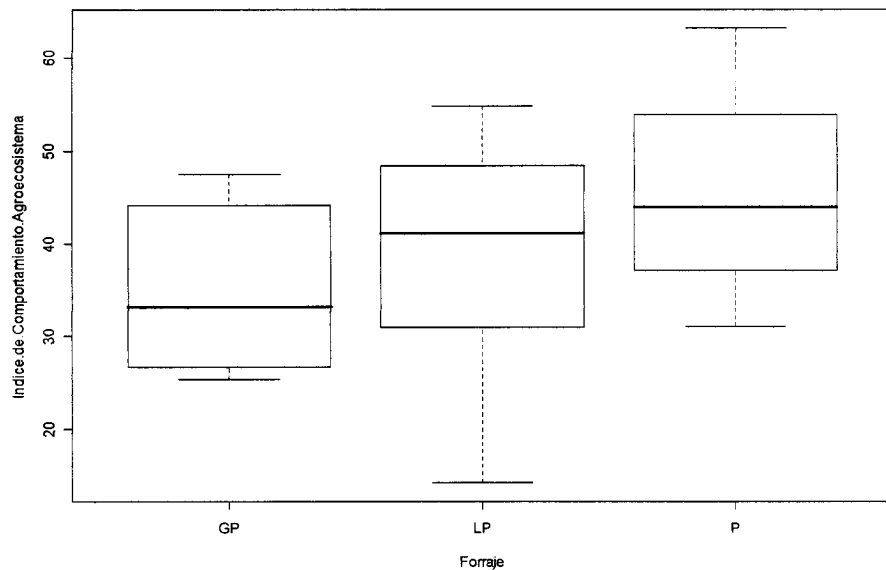


Figura 14. Gráfica de cajas de las asociaciones en el periodo descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto). GP (*Gliricidia* Pasto), LP (*leucaena* Pasto), P (Pasto).

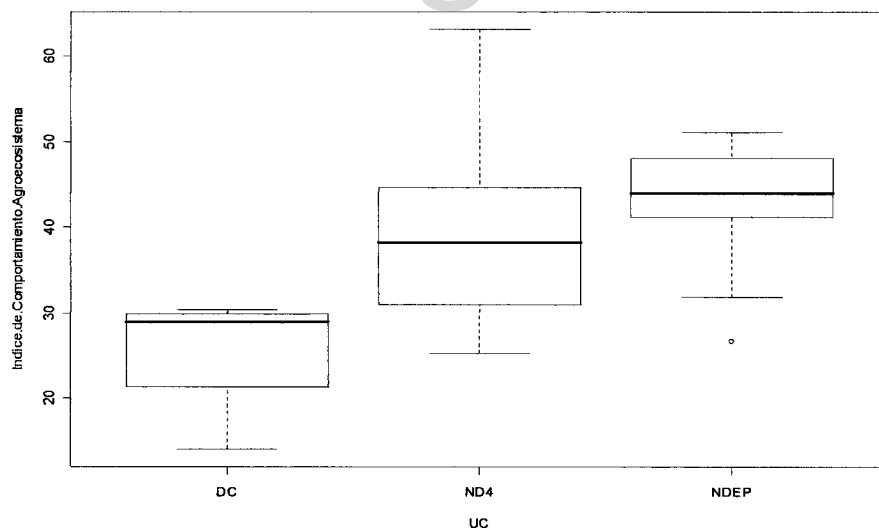


Figura 15. Gráfica de cajas de las unidades fisiográficas en el periodo descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto). GP (*Gliricidia* Pasto), LP (*leucaena* Pasto), P (Pasto).

Cuadro 20. Análisis de la varianza para las asociaciones en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto)

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	2	291.9	146.0	1.2844	0.2921
Residuos	29	3295.8	113.6		

Cuadro 21. Valores de la media y error estandar para las asociaciones en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto)

Asociaciones	Media	Error Estandar
P	45.51	± 6.63
LP	39.02	± 2.39
GP	35.07	± 3.22

Cuadro 22. Análisis de la varianza para las unidades cartográficas en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).

Fuente de variación	GL	SS	MS	F	Pr(>F)
Tratamientos	2	860.08	440.04	4.5721	0.01880*
Residuos	29	2227.66	94.06		

Cuadro 23. Comparaciones múltiples de medias y error estandar para las unidades fisiográficas en el periodo de descanso incluyendo la biomasa (leguminosa y pasto).

Asociaciones	Media	Grupos	Error Estandar
NDEP	42.53	a	± 2.24
ND4	39.57	b	± 2.70
DC	25.60	c	± 3.85

VII. CLONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se establecieron las funciones específicas del suelo y de la biomasa. Para el suelo se seleccionaron tres funciones relacionadas con la fertilidad: biológica, física y química; para la biomasa se seleccionaron dos funciones relacionadas con la producción de leguminosas (*Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*) y producción de gramíneas.

Se seleccionaron los indicadores para las funciones i) **Fertilidad Biológica:** **Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo**, ii) **Fertilidad Física:** arena, Limo, Arcilla, Humedad Aprovechable, Densidad aparente, iii) **Fertilidad Química:** **Reacción del suelo (pH), Bases Intercambiables, Acidez intercambiable, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva**, iv) **Producción de leguminosa:** **Materia Seca, Proteína Cruda, Calcio, Potasio, Magnesio, Fósforo** y v) **Producción de Gramínea:** **Materia Seca, Proteína Cruda, Calcio, Potasio, Magnesio, y Fósforo.**

Los atributos edáficos evaluados, no mostraron diferencias entre las dos profundidades en cada uno de los periodos, significando que en los sistemas evaluados el suelo cumple sus funciones indistintamente a una profundidad entre 0 y 20 cm.

La unidad cartográfica ND4 sobre suelos Aquic Eutrudepts presentó el mejor índice de calidad de suelo tanto para el testigo (pasto solo) como para la asociación (*Leucaena* – pasto) en ambos escenarios. Estos suelos son de imperfectamente a pobremente drenados con texturas de medianas a pesadas, con valores altos de Calcio (20meq/100), un CICE de 22 meq/100 y valores de pH entre (5,77 y 6,10),

Para el grupo de las *Gliricidia*, el mejor índice de calidad de suelo se observó en la unidad cartográfica NDEP en suelos (Typic Haplustepts) para los dos escenarios. Son suelos de moderadamente a bien drenados con texturas

medianas, valores con pH de (5,31 y 5,45), Calcio de 6,38 meq/100 y un CICE de 15 meq/100.

El índice de calidad mas bajo lo reportó la unidad DC (Typic Ustorthents) tanto para el periodo recién pastoreado (escenario uno) como para el periodo descanso (escenario dos). Estos suelos son excesivamente drenados con texturas gruesas y valores de pH de (5,32 y 5,51) Calcio de 5meq/100 y un CICE de 7meq/100.

El análisis estadístico demostró que existen diferencias a un nivel de significancia al 5% solo para el período de descanso (escenario dos). Esto demuestra que entre el período recién pastoreado y el de descanso, a pesar de ser relativamente corto (entre 22 y 44 días), el índice de calidad de suelo varía ligeramente, en sus atributos edáficos reflejado por el análisis hecho al índice de calidad de suelo.

Al incluir la biomasa, el mejor índice de comportamiento del agroecosistema lo presentan los tratamientos LPND4-9, LPNDEP-12 y GPNDEP-9, desplazando al testigo PND4-12 que reportó mejor índice de calidad de suelo en los dos primeros escenarios. Queda demostrando que la asociación *Leucaena*- pasto se comporta mejor en la unidad fisiográfica ND4 en suelos (Aquic Eutrudepts) mientras que la *Gliricidia* – pasto en la unidad fisiográfica NDEP sobre suelos (Typic Haplustepts)

Los análisis estadísticos reportaron que al incluir la biomasa en el tercer escenario (foliares más periodo de descanso), existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos tal cual como sucedió en el segundo escenario (periodo de descanso).

Se deduce que la unidad fisiográfica NDEP sobre suelo (Typic Haplustepts), alcanza el mejor índice de comportamiento del agroecosistema, el segundo lugar

de índice lo logra la unidad ND4 sobre suelos (Aquic Eutrudepts) y ocupando el tercer lugar la unidad (DC) sobre suelos (Typic Ustorthents).

El uso de índices unificados para el estudio de la calidad de suelo, presenta una gran ventaja, ya que permite evitar realizar análisis estadísticos por separado para cada atributo del suelo.

Se recomienda que al establecer sistemas silvopastoriles con estas asociaciones en zonas aledañas al área donde se realizó la investigación, se deben seleccionar unidades fisiográficas que presenten las características físico químicas y de fertilidad arrojadas en este trabajo, con la finalidad de no correr riesgos de establecerlas en otras unidades que mermen la producción forrajera y por ende el colapso de la unidad de producción.

www.bdigital.ula.ve

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Acton, D. F., and L. J. Gregorich. (eds.) 1995. The health of our soils. CLBRR. Publication 1906/E. Canada. Adriaanse, A. 1993. Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Acton, D. F., and L. J. Gregorich. 1995. Understanding soil health. In: The Health of Our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada. Acton D. F. and L. J. Gregorich (eds) Centre for Land and Biological Resources Research. Ottawa, ON.Canada. pp: 5-10.
- Anderson, T. and R. Joergensen. 1997. Relationship between SIR and FE estimates of microbial C in deciduos forest soils at different pH. Soil Biol. Biochem. 29:1 033-1042.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. American J. of Alternative Agriculture 7: 25-31.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36:605-620.
- Astier, M., E. Pérez, O. Masera, F. Mota, y C. Alatorre. 2001. El diseño de sistemas sustentables de maíz en la Región Purépecha. In: Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. Masera, O. y S. López- Ridaura (eds.) GIRA. Mundi-Prensa y Programa Universitario de Medio Ambiente, México D. F. 346 p.
- Bandinck, A.K. y R.P. Dick. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. Soil Biology and Biochemistry 31(11): 1471-1479.
- Benacchio, S. (1979). Phenological studies on *Gliricidia sepium*, Kunth, a potential indicator species in Venezuela. International Simposium of Tropical Ecology.

- Belsky, A.J. 1992. Influence of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* 75 (4): 922-932.
- Bertsch F.1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1^{er} Edición, San José Costa Rica: ACCS. 157 p.
- Carter, M. R., Gregorich, E. G., Anderson, D. W. , Doran, J. W., Janzen, H. H. and F. J. Pierce. 1997. Concepts of soil quality and their significance. *In* E. G. Gregorich and M. Carter (ed.) Soil quality for crop production and ecosystem health. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Chadhokar, P. 1.982. *Gliricidia maculata*. Una leguminosa forrajera prometedora. *Rev. Mundial Zoot.*, 44:36-43.
- Chadhokar, P. 1.983. The effect of *Gliricidia sepium* supplemented dry season forage on the milk yield and composition of MRY (Netherlands) cows in Sri Lanka. *Trop. Grassl.*, 17:39-41.
- Chadhokar, P. 1.982. Effect of feeding *gliricidia maculata* to milking cows. A preliminary report. *Trop. grassl* 16:46-48.
- Conway, G. 1994. Sustainability in Agricultural Development: Tradeoffs Between Productivity, Stability, and Equitability. *Journal for Farming Systems and Research-Extensions* 4: 1-14.
- Dávila C, Urbano D, Sanchez R. 1997. Efecto de la asociación *Brachiaria sp.* con leucaena (*Leucaena leucocephala*) y mataratón (*Gliricidia sepium*) sobre la producción de leche. *Archi. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (Supl 1): 135 – 138.
- Dávila C., Urbano D. 1996. Evaluación de ecotipos de leucaena (*leucaena leucocephala*) bajo corte en el Sur del Lago de Maracaibo. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*; 1996. 13: 539-550.
- Doran, J.W. 1997. Soil quality and sustainability. In: Proceedings of the Inventory, Genesis, Morphology and Classification of Soils, XXVI Brazilian Congress of Soil Science, Rio de Janeiro, July 20-26, 1997.

- Doran, J. W. A., and T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *In*: J. W. Doran , D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. (eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Doran, J. W. A., A. Sarrantonio, and M. A. Liebig. 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56: 1-54.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington DC, USA.
- Ewel, J. & Madriz, H. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Dirección de Investigación del Ministerio de Agricultura y Cria. Caracas, Venezuela. 74 p.
- Espinoza F., Manrique A. (1998). Perspectivas de los Sistemas Agroforestales y Silvopastoriles en Venezuela. FONAIAP Divulga. No 54.
- Etchevers B., J.D., R.A. Fischer, I. Vidal, K. D. Saire, M. A. Sandoval, K. Oleschko, y S. Román C. 2000. Labranza de conservación, índices de calidad de suelo y captura de carbono. *In*: Memorias Simposio Internacional de Labranza de Conservación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias- Produce Mazatlán, Sinaloa.
- FAO. 1994. *FAO Production Yearbook*. Vol. 48. FAO Statistics Series N° 76.
- Fox J. 2005. The R Commander: A Basic-Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*. 2005. 14: 9.
- Hansen, J. W. 1996. Is Agricultural Sustainability a Useful Concept. *Agricultural Systems* 50: 117-43.
- Holmann, F., Estrada, R.D., Romero, F., y Villegas, L. 1995. Technology adoption and competitiveness in small milk producing farms in Costa Rica: a case study. En M.E. Ruiz, C. Seré y H. Li Pun (eds) Animal production systems global workshop. Proceedings, September 15-20, 1991. San José, Costa Rica. IICA – RISPAL. Pp. 141-168.

- Horwitt, B.N. 1952. Determination of inorganic serum phosphate by means of stannous chloride. *J. Biol. Chem.* 199: 537-541.
- Howard, D y P. J. Howard. 1993. Relationships between CO₂ evolution moisture content and temperature for arrange of soil types. *Soil Biol. Biochen.* 25 (11): 1537-1546.
- Hünнемeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Infogeo. 2005. Programa Andes Tropicales
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation in Central America in the 1980s and 1990s: a policy perspective. Yakarta, Indonesia. CIFOR.
- Karlen, D. L., S. S. Andrews, and J. W. Doran. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances In Agronomy.* 74:1-39.
- Karlen, D. L., and D. E. Stott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: J. W. Doran , D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.* SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.
- Kettler, T. A., D. J. Lyon, J. W. Doran, W. L. Powers, and W. W. Stroup. 2000. Soil quality assessment after weed-control tillage in a no-till wheat-fallow cropping system. *Soil. Sci. Am. J.* 64:339-346.
- Larson, W. E., and F. J. Pierce. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Coleman, D. C., D. F. Bezdiceck , and B. A. Stewart (eds.) *Special Publication No. 35.* SSSA, Madison, Wisconsin. pp:37-51.

- Liebig, M. A., Martin E. Miller, Gary E. Varvel, John W. Doran, John D. Llanos. 2004. "Agroecosystem Performance Assessment Tool"
- MacDonald, K. B., W. R. Fraser, F. Wang, and G. W. Lelyk. 1995. A geographical framework for assessing soil quality. p:19-30. In: Acton, D. F., and L. J. Gregorich (eds.) The health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada. CLBRR, RB, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ont.
- MAC – FONAIAP 1990. Manual de métodos de referencia para el análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. 80 p.
- Márquez R. N. 1989. Estudio sobre la información básica de la finca "Judibana" Universidad de los Andes Municipio Alberto Adriani estado Mérida.
- Masciandaro, G., and B. Ceccanti. 1999. Assessing soil quality in different agroecosystems through biochemical and chemico-structural properties of humic substances. Soil & Tillage Research 51:129-137.
- Matute, J. 1992. ¿Qué hago con mis datos? Capítulos 1 - 4. Colonia el Mirador Guatemala. Pp. 9 – 22.
- Molina C., Molina C., Molina E., Molina J. y Navas, A. 2001. Advances in the implementation of high tree-density silvopastoral systems. In: International Symposium on Silvopastoral Systems. CATIE. San José de Costa Rica. Pp: 299-202.
- Nair, P. 1991. State-of-the-art of agroforestry systems. Forest Ecology and Management 45: 5-29.
- Nair, P. 1993. An introduction to agroforestry Dordrecht, The Netherlands. Kluwer Academic.
- Pezo, D. 1996. Potencial de sostenibilidad en sistemas de producción animal basados en la utilización de recursos alimenticios locales. En 1er. Ciclo de conferencias sobre: "Utilización de Recursos Alimenticios Alternativos para Rumiantes en el Trópico", 15-23 de julio, 1996. San Juan de los Morros, Venezuela. Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos. Pp. 119-146.

- Pezo, D., y Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. En 1er. Foro Internacional sobre "Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales". Veracruz, México, 7-9 de Noviembre 1996. Morelia, México. FIRA – Banco de México. 39 p.
- Pezo, D., y Ibrahim, M. 1999. Sistemas Silvopastoriles. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. Módulo N° 2. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 264 p.
- Pezo, D., Romero, F., y Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. En Fernández-Baca, S. (ed). Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Santiago, Chile. FAO, Oficina regional para América Latina y el Caribe. Pp. 47-98.
- Razz R., Clavero T., Ferrer O., Pérez J., Rodríguez. A. 1995. Efecto de la fertilización con N y P sobre el valor nutritivo de 2 ecotipos de *Leucaena leucocephala*. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 1995, 12: 325- 330.
- Reverón, A. y J. Montilla, J. Rodríguez y J. Montilla. 1986. Posibilidades de *Gliricidia sepium* en la Alimentación Animal. Rev. Fac. Agron. UCV. alcance 35: 193-203.
- Reynolds, S. G. 1995. Pasture – cattle – coconut systems. Bangkok, Thailand. FAO, Regional office for Asia and the pacific.
- Riesco, A. 1992. La ganadería bovina en el trópico americano: situación actual y perspectivas. En Fernández – Baca, S. (ed) Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Santiago, Chile. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Pp. 13-46.
- Rincón E. 2000. Los árboles y la producción animal. I Simposium sobre Recursos y Tecnologías Alimentarias para la Producción Bovina a Pastoreo en Condiciones Tropicales. Univ. Nac. Exp. Táchira, San Cristóbal, Venezuela. pp. 121-131.
- Ringuelet I. G., 1998. Sistema Productivo Agroforestal. Escuela IPEM N° 14 "Arturo Capdevila". Cruz de Eje.

- Ruiz, T.E.; Febles, G.; Jordán, H.; Castillo, E. y Díaz, H. (1998). Evaluación de diferentes poblaciones de leucaena en el desarrollo del pasto estrella. Efecto de la sombra. III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la Ganadería". EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba, pág. 35.
- Sánchez-Marañón, M., M, Soriano, G. Delgado, and R. Delgado. 2002. Soil. Sci. Soc. Am. J. 66:948-958.
- Sanguino, J. V. y Herrera B. 1980. El mata ratón (*Gliricidia sepium*) en la fincas ganaderas. MAC. Prog. de Pastos y Forrajes. 5 pp.
- Saviozzi, A. R. Levi-Minzi, R. Cardelli, and R. Riffaldi. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. Plant and Soil 233: 251-259.
- Serrao. E. A. S., y Toledo, J.M. 1190. The search for sustainability in Amazonian pastures. En Anderson, A.B. (ed). Alternatives to deforestation steps toward sustainable use of the Amazonrain-forest. New York, U.S.A. Columbia University. Pp. 195-214.
- Seybold, C. A., M. J. Mausbach, D. L. Karlen, and H. H. Rogers. 1997. Quantification of soil quality. In: The soil quality concept. 1998. Bull. Edited by The Soil Quality Institute, USDA, NRCS, USA.
- Sheppard, S. C., C. Gaudet, M. I. Sheppard, P. M. Cureton, and M. P. Wong. 1992. The development of assessment and remedation guidelines for contaminated soils, a review of the science. Can. J. Soil Sci. 72:359-394
- Singer, M.J. y Ewing, S. 2000. Soil Quality. En Handbook of Soil Science. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Smith. O. and Houtert, M. 1987. Valor forrajero de *Gliricidia sepium* . Ver. Mundial de Zoot. Nro. 62:57-68.
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil

Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.

Stur, W.W., y Shelton, H.M. 1991. Compatibility of forages and livestock with plantation crop. En Shelton, H.M. y W.W. Stur (eds). Forages for plantation crops. ACIAR Proceedings N° 32. Pp. 112-116.

Urbano D., Dávila C., Moreno P. 2006. Efecto de las leguminosas arbóreas y la suplementación con concentrado sobre la producción de leche y cambio de peso en vacas doble propósito. Zootecnia Trop., Vol. 24, no.1, p. 69 – 83. ISSN 0798 -7269.

Wick, B., H. Tiessen, and R. S. C. Menezes. 2000. land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvo-pastoral systems in semi-arid NE Brazil. Plant and Soil 222:59-70.

www.bdigital.ula.ve