

# **Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia**

**Sadeghian Siavosh \* , Rivera Juan Manuel\*\* y Gómez María Elena\*\*\***

\* Investigador manejo sostenible de suelos - Fundación CIPAV

\*\* Planeación Ambiental Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ

\*\*\* Investigadora Sistemas Agroforestales - Fundación CIPAV

## **INTRODUCCIÓN**

Si bien la ganadería es una actividad productiva creciente en el área que ocupa, cada vez sus efectos negativos para el suelo se hacen más evidentes. Por eso uno de los retos más grandes que enfrenta la investigación en los trópicos húmedos y sub húmedos es la necesidad de desarrollar una agricultura viable con sistemas de cultivos que sean capaces de asegurar la producción incrementada y sostenible con un mínimo de degradación del recurso suelo (Kang B., 1994). Las investigaciones que se realizan sobre sistemas agroforestales donde se pretenden evaluar las ventajas y los efectos benéficos deben incorporar cada vez elementos y metodologías que permitan demostrarlas y evidenciarlas.

En este proceso deben participar en forma conjunta profesionales de varias disciplinas (biológica, económica y social) y productores. Ello permitirá analizar de una manera más integral y real las verdaderas implicaciones, aportando elementos para la toma de decisiones sobre la implementación de dichos sistemas. “Porque aquellos que son capaces de leer los signos que reflejan cómo le está yendo a la tierra y de comprender las consecuencias, tienen una mejor oportunidad de lograr un uso sostenible efectivo de la tierra” (Campbell, 1994 citado en LEISA, 1997).

### **ASPECTOS GENERALES SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO**

La fertilidad es la forma indirecta de medir la capacidad de producción de suelos y la manera clásica de medirla ha sido a través de la caracterización química y física. Su conservación se ha basado en el balance de nutrientes, que incluye la cantidad presente en el suelo, la cantidad que extraen los cultivos para una producción esperada y la eficiencia de absorción de los nutrientes por las plantas aplicados como fertilizantes de síntesis.

Se considera que el suelo es un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, aire, sustancias sólidas e infinidad de seres vivos que interactúan activamente. Todos estos elementos son determinantes para la presencia y disponibilidad de nutrientes, los cuales inciden sobre la condición del suelo y la permanencia de las actividades agropecuarias en un sistema productivo. Por estas razones el análisis sobre la calidad del suelo debería hacerse en términos más amplios que incluyan parámetros físicos-químicos, biológicos y ambientales.

Las alteraciones locales de un ecosistema tropical, por sutiles que parezcan, pueden producir reacciones en cadena o red capaces de alterar en proporción exponencial todo el ecosistema. Por lo tanto es importante recordar que en promedio la fertilidad de un bosque tropical se encuentra en un 30% en el suelo y un 70% la biomasa del bosque mismo, o mejor en las interacciones entre especies que conforman esta biomasa (Hilderbrand P. *et al.*, 1994).

Si se mantienen esos principios ecológicos de un ecosistemas natural (por ejemplo el establecimiento de ciertos árboles en cultivos anuales como la mejor manera de preservar la fertilidad y la estructura de muchos suelos tropicales) es probable que a largo plazo esto produzca el más alto rendimiento del agricultor (Altieri M. y Yurjevic A., 1991).

### **EFEECTO DE LA GANADERÍA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

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

se vio reducida debido al pisoteo del ganado (3 cabezas por hectárea).

Pinzón, A. y Amézquita, E. (1991) midieron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia). Los resultados de esta investigación revelaron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de los suelos del piedemonte amazónico. Sin embargo la intensidad de estos cambios depende de la zona y la especie cultivada, siendo más drástico en suelos con guaduilla (*Homolepis aturensis*) que pasturas de *B. decumbens* y más en áreas de lomerío (altura pequeña en el terreno) y de terrazas que en las vegas. La compactación fue mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la relación suelo-agua-aire que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. Con relación a la estructura, se encontró una pérdida de esta característica por pisoteo.

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

El pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales pueden considerarse en términos generales como los principales efectos causados en el ecosistema de pastizales por el pastoreo. En cuanto al reciclaje de nutrientes se refiere, son evidentes los efectos en la transferencia de nutrientes vegetales en los potreros debido a los productos excretados por los animales en potreros. La mayor parte de estos nutrientes se retorna al pastizal en forma de heces y orina, cuya cantidad es considerable. Las excretas contienen los nutrientes necesarios para las plantas y en las proporciones deseadas aproximadamente. Sin embargo esos nutrientes no pueden estar todos inmediatamente disponibles para las raíces de las plantas. La orina es rica en N, K, y S mientras que las heces contienen todo el fósforo, parte orgánico (poco asimilable) y parte inorgánico (bastante disponible de

inmediato), así también la mayoría del Ca y Mg pero mucho menos K, Na, N y S, siendo estos dos últimos disponibles solo lentamente. Teóricamente, los mismos nutrientes pueden ser usados varias veces por las plantas y animales en un período corto, mientras que puede tomar un año o más el crecimiento normal de la planta para descomponer y liberar nutrientes para la utilización por otras plantas (Hilder citado por Funes, F.,1975). El agotamiento de las reservas por debajo de un nivel crítico puede ocasionar la muerte de la planta y, por consiguiente, la cubierta basal en los pastizales sujetos a sobrepastoreo, lo que usualmente va asociado con el incremento de especies de gramíneas indeseables y malezas y también con la erosión y deterioro del suelo (Weinmann citado por Funes F,1975).

La ganadería puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo. En particular los sistemas cerrados de granjas mixtas pueden renovar o reponer una fracción sustancial de los nutrientes del suelo, y por consiguiente reducir la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos. Es difícil estimar los beneficios económicos del mejoramiento de la estructura del suelo como un resultado de la adición de materia orgánica. Sin embargo y a nivel general se puede afirmar que la adición de fertilizantes orgánicos incrementa la capacidad de intercambio catiónico y mejora las condiciones físicas por el incremento de la capacidad de retención de agua y por ende la estabilidad estructural, entre otros.

En cuanto a las deficiencias nutricionales del sistema y el control de la erosión, se podría hacer énfasis sobre practicas que conduzcan al reciclaje mas eficiente de nutrientes, entre estos se puede mencionar:

1.Mejoramiento del suelo, haciendo uso de coberturas vegetales (mulch), preparación del suelo con labranza reducida, prácticas de conservación como construcción de terrazas y el uso de barreras, etc. (Amézquita, E.; 1994).

2.Mejoramiento de la producción y calidad de alimento, con la reducción de presiones sobre potreros, favoreciendo la transferencia interna de nutrientes, con prácticas como:

i) introducir árboles y arbustos forrajeros para reducir la erosión y contribuir a la fertilidad del suelo (Montagnini *et al* 1992)

ii) mejorar la calidad de alimento para el ganado, por ejemplo a través de enriquecimiento de la dieta con urea (Preston T y Leng, 1989)

iii) usar alimentos no convencionales como caña de azúcar, frutos de árboles, hojas de bambú, etc (Preston T. y Murgueitio 1992)

iv) reducir la pérdida de nutrientes y utilizar métodos que aumenten la eficiencia de la aplicación de fertilizantes.

## SISTEMAS AGROFORESTALES Y EL SUELO

Los árboles en sistemas agroforestales cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento (Montagnine *et al*, 1992; Fassbender H.,1993). También pueden modificar las características físicas del suelo como su estructura (por la adición de hojarasca, raíces y tallos incrementan los niveles de materia orgánica), la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio (Yung,1989). El sistema radicular extendido y profundo aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes. Además, las formas arbóreas constituyen un mecanismo efectivo de capturar y retener carbono atmosférico (Gutiérrez M.,1995).

Por todas estas condiciones los sistemas agroforestales son una opción de uso en los trópicos húmedos, zonas de montaña, zonas sub húmedas y desérticas en su condición de ecosistemas frágiles.

Investigaciones que respaldan las recomendaciones para el manejo de los suelos de la ladera andina y usos pecuarios con Sistemas silvopastoriles:

### A. CICLAJE DE NUTRIENTES EN UN BANCO DE *Gliricidia sepium*

En la hacienda el Hatico situada en el Valle del Cauca (Colombia), en una zona correspondiente al bosque seco tropical en el municipio del Cerrito se evaluó durante un año el ciclaje de nutrientes mediante una ecuación de balance de nutrientes en un banco de *Gliricidia sepium* con cuatro años de establecido.

La ecuación de balance utilizada fue:

$$Q_i = Q_V + Q_h + Q_f$$

$Q_i$  = Cantidad inicial en el suelo (kg/ha) de MO, P, K, Ca, Mg.

$Q_V$  = Cantidad de nutrientes (kg/ha) en el forraje verde en cuatro cortes (66.3t que corresponden a 15.2t MS).

$Q_h$  = Cantidad de nutrientes (kg/ha) en la hojarasca (3.38t MS).

$Q_f$  = Cantidad final en el suelo (kg/ha) (Un año después).

Se encontró que el balance de nutrientes en kg/ha/año ( $Q_f + Q_V + Q_h - Q_i$ ) fue positivo, se activó la absorción y la circulación de nutrientes ( 997 para el N, 50.3 para el fósforo, 314 para el potasio, 282 para el calcio y 125 para el magnesio), con lo que se concluyó que además de la fijación de nitrógeno atmosférico y el aumento la retención de carbono en el suelo (20% de materia orgánica en un año), *Gliricidia sepium* también contribuye al ciclaje y reciclaje del P, K, Ca y Mg (Gómez M. E. y Preston T. R., 1996).

## B. EVALUACIÓN DE BANCOS DE PROTEÍNA, ENFATIZANDO EN LA FERTILIDAD DEL SUELO

En el municipio de el Dovio (Valle del Cauca-Colombia) sobre la cordillera occidental en una zona marginal cafetera que corresponde a bosque húmedo premontano, se evaluaron dos bancos de proteína como sistemas comparados con un potrero, enfatizando en la fertilidad entendida como la expresión de la interacción de las diferentes variables físicas, químicas y biológicas que la generan (Gómez M. E., 1997).

Los sistemas evaluados fueron:

(1) Banco de nacedero *Trichanthera gigantea* con dos años de establecido en un lote proveniente de potrero de estrella (*Cynodon nlemfuensis*); (2) banco mixto nacedero *Trichanthera gigantea* - chachafruto *Erythrina edulis* con nueve años y (3) potrero con 12 años, compuesto por mezclas de pasto estrella *Cynodon nlemfuensis*, Kikuyo *Pennisetum clandestinum*, braquiaria *Brachiaria decumbens*, yaraguá *Melinis minutiflora* y gramas nativas *Paspalum* sp, así como algunas especies de leguminosas herbáceas como *Desmodium* sp y *Stylosanthes* sp.

Los resultados mostraron que el contenidos de materia orgánica fue mayor en el potreros. (7.7%), en comparación a los bancos de nacedero (5.9%) y mixto (5.5%). Si los contenidos de materia orgánica en el suelo están influidos por varios factores como el material parental, el clima, la acidez, el tipo de vegetación y la biota del suelo (Fassbender H., 1993) y en orden de importancia el primer factor es la vegetación y el clima y después está el materia parental (Jenny citado por Fassbender H. 1993 y Nye y Greenland, Williams y Joseph citados por de las Salas), se podría decir que esta diferencia podría deberse a la vegetación, las relaciones que allí ocurren y por el manejo de plantas y animales.

Los contenidos de fósforo fueron: 71 ppm para el banco mixto, 11 ppm para el nacedero y 5 ppm para el potrero. Con respecto al fósforo en el suelo, este depende del material parental y en las áreas tropicales parece estar ligado con la materia orgánica (Fassbender H. y Bornemisza 1987). Sin embargo en el potrero, donde la materia orgánica fue mayor, el contenido de fósforo fue menor.

Las variables físicas medidas fueron la porosidad y la compactación, las cuales están relacionadas con los espacios porosos en el suelo, a través de los cuales circula el aire y el agua. Los valores encontrados para la porosidad (%) y la compactación (kgf/cm<sup>2</sup>), medida a los 5 y 10 cm fueron: 43%, 1.8

y 1.4 (kgf/cm<sup>2</sup>) para el banco de nacedero; 39.8%, 1.9 y 1.6 (kgf/cm<sup>2</sup>) para el banco mixto y 32%, 2.2 y 2 (kgf/cm<sup>2</sup>) para el potrero.

La mayor compactación y la menor cantidad de espacios porosos se encontraron en el potrero.

Las variables biológicas evaluadas fueron para la mesofauna, el número de grupos e individuos. Se encontraron 8 grupos promedio por muestra para el banco de nacedero y el banco mixto y para el potrero 5. El mayor número de individuos se encontró en el banco mixto y el menor en el potrero. Con estos datos se observa una relación directa de las variables biológicas con las físicas.

Con respecto al fósforo se presenta un diferencia considerable con respecto al banco mixto el cuál involucra una especie leguminosa como es la *E. edulis*. Primavesi 1987 dice que existe una movilización potencial del fósforo en la rizósfera por micro organismos como bacterias (*Aerobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*), hongos (*Aspergillus*, *Alternaria* y *Penicillium*) y las micorrizas son las más estudiadas. También la disponibilidad de fósforo puede estar ligada a leguminosas herbáceas y las cuales movilizan cantidades apreciables por ejemplo caupí (*Vigna sinensis*) y kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y árboles como matarratón (*Gliricidia sepium*) (Gómez M. E. 1993) y pízamo (*E. fusca*) (Rodríguez L 1992).

En estos sistemas se generan entonces una serie de relaciones en cadena, donde convergen todas las variables donde los nutrientes son disponibles y que hacen eficiente el funcionamiento de un sistema.

Como una prueba complementaria en la que se expresan todas las variables se realizó un test prueba de fertilidad que es método rápido y sencillo que indica el actual estado de fertilidad de determinado suelo, el cual se basa en el desarrollo de plantas de maíz (*Zea mais*) expresado en altura de las plantas en centímetros y número de hojas formadas en un tiempo determinado (20 a 40 días). Las semillas se siembra en bolsas (capacidad de 250g) donde el suelo utilizado para el llenado se extrae a una profundidad de 0-25cm de los sistemas que se quieren evaluar y/o compara. Se utiliza el maíz por ser muy sensible a la fertilidad del suelo, donde su productividad también es un buen indicador (Bunch R. y López G., 1995).

En esta prueba se expresa el desarrollo frente a un patrón de fertilidad donde las plántulas alcanzan un mayor desarrollo, que en este caso fue lombricompuesto.

En el suelo del banco mixto las plántulas de maíz alcanzaron un mayor

desarrollo que fue del 78%, las del banco de nacedero el 73% y las del potrero el 53% que fueron las que presentaron un menor desarrollo frente al lombricompuesto.

### **EL POTENCIAL PRODUCTIVO**

La producción de biomasa total en el banco mixto fue de 98.5 t/ha/año (dos cortes año), que corresponde a 81,9t de forraje verde, 3.6 t de material ligeramente lignificado que puede utilizarse como material de propagación (estacas) y 13 toneladas de hojarasca aportadas al ciclaje de los nutrientes.

El banco de nacedero produjo 34.7t/ha (18 forraje verde y 16.7 material leñoso) en dos años cuando se realizó su primer corte.

### **VALORACIÓN ECONÓMICO AMBIENTAL DEL SUELO Y SU FERTILIDAD**

Utilizando el enfoque económico para analizar con los productores la fertilidad de los suelos en diferentes sistemas, y socializar de esta manera los resultados biológicos y productivos representados en el mejoramiento de la calidad del suelo, se realizó un ejercicio de valoración económica de la calidad del suelo, en el que se determinó su importancia en el precio comercial de la tierra y se comparó el efecto del uso(bancos de proteína) sobre la fertilidad.

Con la participación de investigadores de varias disciplinas (agrónomos, biólogos, economistas, sociólogos y veterinarios) y los productores involucrados (campesinos), la utilización de diferentes herramientas (análisis de laboratorio físicos, químicos, prueba o test biológico), técnicas metodológicas (Talleres participativos, juego de roles, mapas veredales, valoración contingente, precios hedónicos) y la combinación de las mismas se logró llegar a la valoración cualitativa y cuantitativa del suelo en los sistemas estudiados.

En la asignación de valor y precio al suelo se encontró que el suelo representa el 20% sobre el valor total del predio (finca) y que la fertilidad contribuye con un 12%.

### **COMENTARIOS**

- Los sistemas silvopastoriles son una opción productiva que permite restablecer los flujos de nutrientes por las múltiples relaciones que allí se activan, que más allá de ser competitivas son complementarias, donde finalmente se conserva y se mejora el suelo que sustenta una producción nada despreciable.



- En el proceso de evaluación y valoración de estos sistemas que son bastante complejos, el reto es grande, lo que implica una forma distinta de entenderlos, donde participen y se integren diferentes disciplinas (biológicas, sociales y económicas), se aproveche la versatilidad que ofrecen muchas técnicas y herramientas y se generen nuevas alternativas que sean de fácil aplicación y replicación.

### **C. EFECTOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE AGROSISTEMAS CAFETEROS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE SUELOS EN EL DEPARTAMENTO DEL QUINDÍO-COLOMBIA**

En el año 1992 se inició una de las crisis más difíciles para el sector cafetero en Colombia, debido a la disminución de los precios del grano y la incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei*). Esta situación provocó la eliminación gradual de cafetales y el establecimiento de nuevos sistemas agropecuarios. Uno de los departamentos con mayor representación en la producción de café es Quindío, el cual se ubica en la región central del país, con altitudes que fluctúan entre los 1200 y 1900 m.s.n.m. y temperaturas promedias de 18 y 20 °C. Allí se han eliminado cerca de 14000 hectáreas de café durante los años 1992 a 1996, y en su lugar se han establecido otras especies, principalmente pastos mejorados para fines ganaderos bajo sistemas intensivos de manejo.

Con el propósito de determinar los efectos de esta transformación sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos la Fundación CIPAV llevó a cabo una investigación para la Corporación Autónoma Regional del Quindío-CRQ (institución departamental que regula el uso de los recursos naturales), durante los meses de junio a diciembre de 1997 en dos tipos de suelos del Quindío (Typic Hapludans y Typic Dystropepts-Typics Hapludalfs). Este trabajo perseguía Identificar los elementos negativos y las amenazas actuales o potenciales y aportar elementos para los procesos de ordenamiento ambiental del territorio y la reglamentación de los usos del suelo (incentivos, castigos y prohibiciones).

Los agroecosistemas evaluados fueron: (1) cultivos de café bajo sistema de manejo tradicional (variedades tipo arábigo y borbón, con sombrío de árboles y plátano, bajas densidades de siembra y reducido o nulo uso de agroquímicos), (2) cultivos de café con manejo tecnificado (variedad Colombia y caturro a libre exposición solar, altas densidades de siembra y uso frecuente de productos de síntesis química) no menor de 5 años, (3)

ganadería intensiva productora de carne con alta carga (6-14 animales/ha) y un tiempo de establecimiento mayor de 2 años en suelos que provenían del cultivo de café. Este sistema consiste en la ceba intensiva de novillos *Bos indicus* (cebú) o de ganado cruzado de *Bos indicus* x *Bos taurus* en potreros rotacionales de pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) con cercas eléctricas, fertilizaciones nitrogenadas (250-1200 kg de urea/ha/año). Las condiciones climáticas adecuadas de la región como la cantidad y distribución de la precipitación y las características favorables del suelo han contribuido al éxito de esta modalidad de la ganadería (4) ganadería intensiva productora de leche con alta carga (4-9 animales/ha) y un tiempo de establecimiento mayor de 2 años en suelos que provenían del cultivo de café. Los animales en su mayoría son vacas Holstein y Pardo Suizo con un manejo similar a la ganadería de ceba intensiva. (5) ganadería extensiva con baja carga (0.5-2 animal/ha) y tiempo de establecimiento mayor de 15 años, con praderas de grama del genero *Paspalum* y animales razas criollas (6) cultivos semestrales o anuales con más de 2 años. bajo el sistema de producción en suelos que provenían del cultivo de café, (7) cultivo de cítricos con más de 3 años en el sistema en suelos que provenían del cultivo de café, (8) bosque nativo y/o guaduales (Asociación vegetal de *Guadua angustifolia*, importante en la protección de fuentes hídricas y utilizada en la agricultura y construcción), tomado como testigo. En este artículo solo se hará alusión a bosques nativos y/o guaduales y cafetales tradicionales, como sistemas forestales o semiforestales y a los tres sistemas ganaderos.

Se evaluaron los siguientes parámetros: textura, densidad real y aparente, porosidad, distribución y estabilidad de agregados, conductividad hidráulica, resistencia a la penetración, pH, materia orgánica, P, Ca, Mg, K, Na, Al, CIC, Fe, Cu, MN, Zn, B, actividad microbiana y mesofauna del suelo.

A nivel general los resultados de este trabajo indicaron que:

- El pisoteo de los animales en los sistemas ganaderos ocasionó la compactación de los suelos y con ello se modificó notoriamente la relación suelo -aire- agua. La diversidad biológica en estos sistemas sufrió reducciones notorias.
- Los sistemas intensivos de producción ganadera produjeron en 2 o 3 años los mismos efectos en los suelos, que las ganaderías extensivas, establecidas hace más de 15 o 20 años.
- El incremento en el número de animales ocasionó una mayor compactación del suelo y los demás efectos que se derivan de él.

- Los altos aportes de potasio, provenientes de la orina de los animales en sistemas de ganadería intensiva, a pesar de haber enriquecido el suelo con este elemento, modificaron substancialmente la proporción que existía inicialmente entre el K con relación al Ca y Mg.
- Los resultados obtenidos a través de los análisis de aguas no indicaron contaminación debido a la utilización de fertilizantes o el estiércol en los sistemas de ganadería intensiva.

### **Actividad microbiana**

La cantidad del dióxido carbónico liberado por los microorganismos del suelos, tomado como indicador de la actividad microbiana, fue superior en guaduales y bosques (826969 microgramo de C/g de suelo seco), seguidos por cafetales tradicionales (20771 microgramo de C/g de suelo seco), conformando un grupo común con las ganaderías extensiva, ceba intensiva y lechería intensiva (18997, 18340 y 17426 microgramo de C/g de suelo seco respectivamente), sin existir diferencias entre ellas. La actividad promedia de este grupo fue 40% inferior al de los guaduales.

Las correlaciones negativas y altamente significativas de esta variable con la densidad aparente y la resistencia a la penetración a los 20 centímetros del suelo mostraron claramente que la actividad de los microorganismos se ve drásticamente reducida por la compactación. Contrario a lo anterior, las correlaciones positivas entre la actividad de los microorganismos con la porosidad y la humedad del suelo manifestaron que en suelos con mayor volumen de porosos y los agroecosistemas que se caracterizan por tener una economía hídrica eficiente (guaduales, bosques nativos y cafetales tradicionales), favorecen la actividad de estos organismos. La materia orgánica jugó un papel sumamente importante para el desarrollo de la actividad microbiana.

### **Meso y macrofauna**

la diversidad de organismos varió en forma notoria, tratándose de un ambiente u otro. Los guaduales y cafetales tradicionales presentaron una mayor diversidad de organismos (6.8 y 6.6 tipos de organismos diferentes, respectivamente), frente a los demás agroecosistemas. Los menores valores se observaron para ganadería intensiva de ceba (3.43 tipos), ganadería extensiva (2.091 tipos) y ganadería intensiva de leche (2.09 tipos). Estos

resultados revelan de qué manera un ambiente propicio y con mayor diversidad florística puede favorecer el desarrollo de una más alta heterogeneidad de especies.

Wild A., 1992 al referirse a la condiciones físicas del suelo comenta "la fauna necesita un medio bien aireado para su crecimiento activo, no pudiendo soportar los suelos inundados ni los compactados por el pisoteo del ganado".

### **Materia orgánica**

Los suelos de guaduales y bosques presentaron un mayor contenido de materia orgánica que los demás sistemas (11.21%). Las ganaderías extensivas y de leche se clasificaron en términos medios, con 7.82 y 8.03% respectivamente. Los cafetales tradicionales ocuparon el segundo lugar, después de los guaduales (9.54%) y la ganadería de ceba intensiva (7.39%). Las correlaciones altamente significativas y negativas muestran que los niveles altos de materia orgánica inciden en la disminución de la compactación, densidad real y el pH y, aumenta la porosidad, el contenido del agua gravimétrica, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad de los microorganismos del suelo.

### **Densidad aparente**

Los guaduales y bosques presentan los niveles más bajos de compactación (0.69 g/cc), seguido por cafetales tradicionales (0.82 g/cc), los cuales formaron dos grupos separados y estadísticamente diferentes a los demás. La ganadería extensiva y la ganadería intensiva de producción lechera se categorizaron entre los sistemas con densidades medias que entre 0.98 y 1.05 g/cc y, la ganadería intensiva dedicada a la producción de carne presentaron los valores más altos de DA (1.10 g/cc). Es preciso aclarar que a pesar de contar con un promedio general bajo (0.96 g/cc), y saber que estos resultados no se pueden extrapolar a través del tiempo, es preocupante que en tan poco tiempo (la mayoría menos de 3 años), la densidad aparente del sistema intensivo de ceba sea estadísticamente superior a la ganadería extensiva, cuyo tiempo de explotación, en la mayoría de los casos, supera los 15 - 20 años.

### **Resistencia a la penetración**

Al considerar la variable resistencia a la penetración en los primeros 10 cm de profundidad, la ceba intensiva se destacó por presentar el promedio más elevado (3.32 kg/cm<sup>2</sup>), diferenciándose claramente de los demás sistemas. La

ganadería intensiva productora de leche, la ganadería extensiva se clasificaron dentro de un segundo grupo, con promedios de 2.69 y 2.62 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. La tercera agrupación incluyó a los cafetales tradicionales (1.30 kg/cm<sup>2</sup>) y guaduales (1.24 kg/cm<sup>2</sup>), los cuales conforman los sistemas de menor. Similares tendencias se observan cuando se comparó la compactación entre 10 y 20 cm. Los guaduales presentaron los valores más bajos de resistencia a la penetración para esta profundidad (1.36 Kg/cm<sup>2</sup>), con diferencias estadísticas frente a los demás sistemas. Los sistemas ganaderos fueron los que mayor compactación ocasionaron a los suelos (ceba=3.39 kg/cm<sup>2</sup>, extensivo=3.36 kg/cm<sup>2</sup> y lechería=3.03 kg/cm<sup>2</sup>). Los aumentos de la compactación de los sistemas pecuarios con relación a los cultivos de café en términos porcentuales para la ganadería intensiva de carne y leche respectivamente fueron 130 y 86% en los primeros 10 centímetros y 89 y 68% para la profundidad de 10 a 20 . El grado de la compactación fue directamente proporcional a la densidad aparente y densidad real. Los suelos menos compactados presentaron más espacios porosos, mayor conductividad del agua y propiciaron un mejor ambiente para el desarrollo de los microorganismos. Los suelos ricos en materia orgánica fueron menos susceptibles a la compactación.

### **Densidad real**

En promedio los valores de la densidad real fluctuaron entre 2.37 y 2.50 g/cc, con una media general de 2.46 g/cc. Los guaduales y bosques se caracterizaron por estar compuestos de materiales más livianos que los demás sistemas, los cuales no presentan diferencias significativas entre sí.

### **Porosidad**

Los suelos más porosos fueron los guaduales y los cafetales tradicionales, con niveles que alcanzan el 70.72 y 66.58% respectivamente, superando a todos lo de más sistemas. Los valores más bajos correspondieron a las ganaderías de ceba intensiva, lechería intensiva, extensiva (56.33, 57.59 y 59.33 respectivamente).

A medida en que fue mayor la porosidad se mejoraron notoriamente la retención de humedad, el paso del agua en el suelo, la actividad de los microorganismos y se redujo la compactación.

### **Estabilidad de agregados**

Los guaduales y bosques, con un promedio ponderado de 3.03 mm, se clasificaron como los ambientes con mayor estabilidad estructural y formaron un grupo con la ganadería extensiva y cafetales tradicionales, cuyos diámetros medios ponderados fueron de 2.80 y 2.60 mm respectivamente. Los sistemas de ceiba y lechería intensiva presentan diámetros promedios de 2.53, 2.48, 2.35 y 2.34 mm. Los mayores contenidos de materia orgánica guardaron proporción con la estabilidad estructural de los suelos. Por lo anterior se podría esperar que los suelos con niveles más altos de materia orgánica desarrollaran agregados de mayor tamaño y por consiguiente con mejores características.

### **Contenido de humedad**

Los agroecosistemas guadual y café tradicional se caracterizaron por contener las mayores cantidades de humedad, con promedios de 34.88 y 31.37% respectivamente, superando substancialmente a los demás, con promedios que fluctuaron entre 27.12 y 19.71.

Los coeficientes de correlación indican que los suelos con menor densidad aparente y real son los que poseen mayor volumen de poros y por consiguiente pueden retener más humedad. Así mismo, el contenido de la materia orgánica y residuos vegetales juegan un papel importante en la economía hídrica que se debe tener en cuenta, ya que cumple con la función de servir como colchón o esponja absorbente. Esta característica a su vez mejoró ostensiblemente la actividad microbiana y se redujo la resistencia a la penetración.

### **Conductividad hidráulica**

Los guaduales con un promedio de 50.73 cm/h se caracterizaron por tener un conductividad hidráulica que se clasifica como muy rápida. Los cafetales tradicionales y tecnificados constituyeron el segundo grupo y se diferenciaron de los demás. Los dos sistemas ganaderos de explotación intensiva presentaron los valores más bajos (ceiba=7.84 y lechería=8.12 cm/h). La conductividad promedia en sistemas de ganadería extensiva fue 18.05 cm/h. El paso de los fluidos fue mas rápido en suelos no compactados y con mayores contenidos de materia orgánica, donde existe buena porosidad y el tamaño de los agregados es mayor, hechos que se evidencian por un alto coeficiente de correlación.

## **pH**

No se presentan diferencias debido al pH entre los sistemas estudiados. A medida que subió el pH, se incrementaron los niveles de Ca, Mg, K y suma de bases, y su representación en términos del porcentaje de saturación de bases. En el caso contrario, una reducción del pH incidió en el incremento de la concentración de hidrogeniones (iones hidrogeno H<sup>+</sup>), Al, Fe y la relación Ca/Mg, (Ca+Mg)/K. Con relación a la tendencias del ion hidrogeno (H<sup>+</sup>), este elemento sigue las mismas tendencias del pH.

## **Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC**

Los cafetales tradicionales, bosques nativos y guaduales se caracterizaron por su mayor CIC comparados con los sistemas ganaderos.

## **Calcio**

Las comparaciones de valores promedios reunieron a las ganadería extensiva y la ceba intensiva como un grupo con menos Ca que los guaduales-bosques y cafetales tradicionales, con promedios de 6.49 y 5.96 me/100g respectivamente.

## **Magnesio**

Los guaduales y bosques con un promedio general de 1.84 me/100 g se distinguieron de todos los demás sistemas, con rangos inferiores que fluctuaron entre 1.39 y 0.96 me/100 g. Los sistemas ganaderos presentaron niveles intermedios. La representación de magnesio en términos de la capacidad de intercambio catiónico fue muy pobre.

## **Potasio**

Los suelos de sistemas intensivos de producción ganadera se distinguieron por su alto contenido de K, básicamente por los aportes que reciben de la orina provenientes de los animales, situación explicada por Funes, F. (1975).

## **Relación entre calcio y magnesio (Ca/Mg)**

Los tres sistemas ganaderos presentaron los valores más bajos de Ca/Mg. Estos resultados, en primera instancia, podrían indicar una relación más balanceada, sin embargo la razón de este hecho se debe a los menores contenidos de calcio en dichos sistemas y no a la abundancia de magnesio.

### **Relación entre calcio, magnesio y potasio (Ca+Mg/K)**

Los altos contenidos de K y los menores niveles de Ca en los suelos de sistemas intensivos de ganadería crea diferencias entre este grupo y los cafetales tradicionales, guaduales y bosques.

### **Fósforo**

Los niveles de P no presentaron variaciones considerables, tratándose de los agroecosistemas evaluados, a pesar de que el rango de promedio encontrado fue muy amplio, los análisis estadísticos determinan que el comportamiento de este elemento no presentó variaciones entre los sistemas. Este hecho obedeció al amplio coeficiente de variación (C.V.= 100.27%), entre los sistemas evaluados en cada una de las localidades. Sin embargo los niveles más bajos se detectaron en la ganadería extensiva.

### **Elementos menores**

Como resultado de la pérdida de calcio y magnesio el hierro (Fe) y manganeso (Mn) dominaron de una manera más libre el escenario empobrecido en bases intercambiables. Los suelos dedicados a la ganadería, encabezados por modalidades intensivas, fueron el reflejo de lo anterior. En cuanto al boro, la ganadería extensiva se caracterizó por ser el más pobre.

En los sistemas ganaderos la extracción alta de calcio y los grandes aportes de potasio, a través de la orina de los animales, han modificado parcialmente el estado original de los suelos cultivados anteriormente en café.

Basados en los resultados anteriores y las experiencia anteriores se propusieron las recomendaciones, teniendo en cuenta las condiciones de las diferentes zonas, así:

- 1.Zonas con riesgo de desastre natural (urbana, semi urbana, y rural).
- 2.Nacimiento de agua
- 3.Orilla de los ríos y quebradas-zonas de captación de agua
- 4.Sitios con pendientes mayores de 50%
- 5.Sitios pendientes menores del 30%
- 6.Sitios con pendiente menores del 30%
- 7.Zonas suburbanas

Se hicieron recomendaciones para ser ajustadas a cada una de las siete zonas identificadas y para cada uno de los municipios que deben reglamentar



el uso del suelo (Armenia, Calarcá, Circasia, La Tebaida, Montenegro y Quimbaya)

- Integración de los sistemas de producción agrícolas y pecuarios.
- Implementar sistemas silvopastoriles, los cuales permitirán disminuir la dependencia de fertilizantes, reducir la erosión y la compactación del suelo, estimular el ciclo de nutrientes y generar un ambiente más favorable para los animales.
- Promover la fertilización orgánica de los cultivos, pastos y forrajes.
- Para el ordenamiento ambiental y la reglamentación del uso del suelo tener en cuenta la ubicación y la pendiente de los terrenos.
- Buscar alternativas productivas diferentes a la ganadería intensiva en zonas de pendientes fuertes. Estas pueden incluir: sistemas de estabulación o semi estabulación de animales, alimentados con forrajes como *Leucaena leucocephala* (Ecotipo adaptado a la región) Botón de oro *Tithonia diversifolia*, morera *Morus* sp, Nacadero *Trichantera gigantea*, caña de azúcar, pastos de corte y residuos agroindustriales.
- Asesorar a los ganaderos para la implementación de prácticas con elementos de sostenibilidad. Entre las recomendaciones se pueden mencionar: diversificar las explotaciones ganaderas, establecer áreas en silvopastoreo, reducir la carga animal, establecer franjas de forrajes arbóreos y arbustivos y división de potreros con cercas vivas.
- Realizar análisis económico-ambiental de los sistemas de ganadería.
- Realizar un seguimiento de los sistemas de producción evaluados durante un mayor tiempo.
- Incentivar el uso de coberturas del suelo en los cultivos.
- Incentivar el cultivo forestal de guadua.
- Analizar periódicamente las características químicas del suelo.
- Promover el cultivo de especies arbóreas (maderas finas leguminosas, etc.) En forma integrada con la ganadería, con el fin de: aumentar ingresos, reducir insumos externos, brindar sombra permanente a los animales, promover el ciclaje de nutrientes, reducir los riesgos de derrumbes y servir de barreras rompevientos.
- Promover el establecimiento de cercas vivas para la división de potreros y linderos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Altieri M. 1983. Agroecología. Berkeley. California. 184p
- Altieri M y Yurjevic A. 1991. La agroecología y el Desarrollo Rural Sostenible en América Latina. Agroecología y Desarrollo. CLADES. Año 2. No 1. 25-36p
- Amézquita, E. 1994. Residuos orgánicos superficiales (MULCH), su importancia en el manejo de los suelos. Memorias del VII congreso Colombiano de la ciencia del suelo. Bucaramanga, oct. 9-15 p.
- Amézquita, E. Y Pinzón a. 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales. Vol. 13, No. 2. 21 - 26 p.
- Bunch R y López G. 1995. Recuperación de suelos en Centroamérica. 6p.
- Bustamante J y Romero F. 1992. Producción ganadera en un contexto agroforestal: Sistemas Silvopastoriles. CATIE. Turrialba Costa Rica.
- De las Salas G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América Tropical. IICA. San José. Costa Rica. 447 pp
- Fassbender H y Bornemisza E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. San José. Costa Rica. 420 pp
- Fassbender H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2da edición. CAITE. Turrialba. Costa Rica. 490
- Funes, F. , 1975. Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales. Rev. Cubana Cienc. Agric. 9: 395 - 412 p.
- Gavande, S. A. 1987. Física de suelos. Sexta impresión. México, Editorial Limusa. 351 p.
- Gómez M. E., Rodríguez L, Murgueitio, Ríos C, Rosales M, Molina C H, Molina C H, Molina E, Molina J. P. 1997. Árboles y Arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica: Matarratón *Gliricidia sepium*, nacedero *Trichanthera gigantea*, Pízamo *Erythrina fusca*, Botón de oro *Tithonia diversifolia* 2da edición. CIPAV. Cali. 127p.
- Gómez M E. 1997. Evaluación de sistemas de producción de caña de azúcar y árboles forrajeros enfatizando en la fertilidad del suelo. Maestría en Desarrollo de Sistemas Agrarios (Universidad Jamerdana, CIPAV, IICA). 62p.
- Gómez M E y Preston R T. 1996 Livestock Research for rural Development Vol 8 No1.
- Guerrero, R. 1995. Fertilización de cultivos en clima medio. Segunda edición . 262 p. Gutiérrez M. 1995. Agriculturas para la vida. Cali.
- IGAC, 1996. Suelos Departamento del Quindío. Grupos Editores. Armenia Colombia.
- Kang B. 1994. Cultivos en callejones: Logros y perspectivas. Agroforestería en Desarrollo. Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible. UACH. Chapingo. México. 61-82.

- Lal, R. 1996, Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I. Soil physical and hydrological Properties. *Land Degradation & Development*, Vol. 7, 19 - 45 p.
- Lal, R. 1996, Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. III. Soil erosion and nutrient loss. *Land Degradation & Development*, Vol. 7, 87 - 98 p.
- Lal, R. 1996, Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. II. Soil chemical Properties. *Land Degradation & Development*, Vol. 7, 99 - 119 p.
- LEISA 1997 En: Forjando asociaciones volumen 13 No 2 p5
- Montagnini, F y 18 colaboradores, 1992. *Sistema Agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos*. 2da ed. OET. 662pp.
- Montenegro, H. Y Malagón, D. , 1990. *Propiedades Físicas de los Suelos*. IGAC. Subdirección Agrícola. 813 p.
- Preston T R y Leng R A 1987. *Ajustando los Sistemas de producción Pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el trópico*. 312pp.
- Preston T R y Murgueitio E 1992 *Strategy for Sustainable Livestock Production in the Tropics*. CIPAV, SAREC, Cali, Colombia.
- Primavesi A. 1987. *Manejo ecológico del suelo*. Brasil.
- Sánchez, P.; Castilla, C. Y Alegre J. 1989. *Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process*. Documento No. 42511 CIAT. 182 - 187 P.
- Somarriba. 1990. *Qué es la agroforestería: El Chasqui* No 24:5-13. Costa Rica.
- Young. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. CAB Internationa-ICRAF.