

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

**GANADERÍA Y BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar por el grado de:

Magister Scientiae

Por

CRISTÓBAL VILLANUEVA NAJARRO

Turrialba, Costa Rica
2001

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

FIRMANTES:

Muhammad Ibrahim, Ph. D.

Consejero Principal

Bommat Ramakrishna, Ph. D.

Miembro del comité Consejero

Andrea Schlönvoigt *Ph. D.*

Miembro del comité Consejero

Sergio Velásquez, M. Sc.

Miembro del comité Consejero

Al Moslemi, Ph. D.

Director y Decano de la Escuela de Posgrado

Cristóbal Villanueva Najarro

Candidato

DEDICATORIA

A DIOS, todopoderoso por mantenerme encendida la llama de la vida, sabiduría, paciencia y buen discernimiento en todo momento.

A MIS PADRES por su amor, comprensión y brillante ejemplo de lucha en ser mejor cada día.

A MI ESPOSA ERICKA por su amor y apoyo moral en todo momento.

A mis hermanos por ese amor que nos ha mantenido unidos.

A mis sobrinos que esta gota de esfuerzo sea un ejemplo que incite la cristalización de todo sueño en la vida.

A mi patria Guatemala.

Mas allá de esperar que la tierra produzca más consiste en aprender a hacer más con lo que la tierra ya produce.... (ZERI)

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Muhammad Ibrahim, por su magnífica orientación en el presente trabajo y su excelente relación humana.

A los miembros del comité asesor, Dres. Bommat Ramakrishna, Andrea Schlonvoigt y al M. Sc. Sergio Velásquez. Por sus aportes en el presente trabajo.

A la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI) por haberme brindado el apoyo financiero de mis estudios en el CATIE

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza por su contribución en mi formación profesional.

Al Proyecto Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA) de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, por su invaluable cooperación en el desarrollo del presente trabajo, y a todo su personal por la hospitalidad que me brindaron durante mi estadía en el proyecto.

Al Doctor Allan González y Familia, infinitas gracias por sus grandes gestos de solidaridad y apoyo a la comunidad de estudiantes Guatemaltecos en CATIE

Al Ingeniero Miguel Ángel Gutiérrez por su amistad y buenos consejos

A todo el personal de la biblioteca ORTON, por su amistad y servicio durante mi estancia en este centro de estudios.

Al personal de la subunidad de Sistemas Silvopastoriles, en especial a Patricia Aguilar y Paulo Dittel por su apoyo y amistad.

Al Sr. Anselmo Rodríguez y Familia, por la confianza y apoyo brindando en la realización del presente trabajo.

A Gustavo López por su oportuna colaboración en la parte estadística

A Frank López, por su apoyo en el laboratorio de Fitoquímica

A Patricia Leandro por su apoyo y comprensión en el análisis de suelos

A mis compatriotas de promoción, gracias por el apoyo y amistad

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A todas aquellas personas que de una u otra manera participaron en la realización de este sueño

Villanueva, CE. 2001. Ganadería y beneficios de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 107 p.

Palabras claves: Cuenca río Virilla, usos de la tierra en fincas lecheras, sistemas silvopastoriles, *Alnus acuminata*, densidad de árboles, densidad aparente, resistencia a la penetración, nitrógeno en el suelo, almacenamiento de carbono, finca ecológica, manejo de desechos orgánicos, análisis financiero.

RESUMEN

El propósito del presente estudio fue la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, incluyendo además la tipificación del componente arbóreo y arbustivo en términos de diversidad y densidad en pasturas a nivel de cercas vivas y árboles dispersos en potreros; el impacto del sistema silvopastoril *Alnus acuminata* (jaúl) con *Pennisetum clandestinum* (kikuyu) en la recuperación de suelos de pasturas degradadas, el secuestro de carbono y la relación de árboles en pasturas con la calidad de corrientes de agua; producción y manejo de desechos orgánicos en una finca ecológica y un análisis financiero en una finca con enfoque ecológico y una finca tradicional.

Tres estudios se llevaron a cabo en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, localizada entre las coordenadas geográfica 9°57'30" a 10°05'00" latitud norte y 83°54'00" a 84°05'00" de longitud oeste y una altura entre 1100 y 2950 msnm; con una temperatura y precipitación pluvial anual entre 16.5°C a 18.4°C y 1800 a 3400 mm, respectivamente.

En el primer estudio se aplicó una entrevista a 35 ganaderos de la zona para obtener información relacionada a: usos de la tierra, manejo de las pasturas, manejo del hato bovino, productividad de leche, manejo de los desechos orgánicos y el uso, manejo, limitantes y bondades de los árboles dentro de las pasturas. El estudio incluyó además una caracterización detallada de los árboles y arbustos en pasturas, para lo cual se eligieron al azar 12 fincas del grupo base (n=35) y dentro de cada una de las fincas se establecieron 3 parcelas de 1 ha de tamaño. En estas parcelas se determinó la diversidad de especies y la densidad arbórea y arbustiva con énfasis en árboles dispersos y cercas vivas en pasturas.

De manera general el tamaño promedio de las fincas fue de 96 ha, dentro de las cuales el 85% del área está ocupada por pasturas; 14% por vegetación arbórea y arbustiva y el 1% de cultivos agrícolas. De acuerdo a los modelos de regresión lineal múltiples realizados, el área de bosque (Y, ha) presentó una relación significativa ($p < 0.01$) con el área de pastura (x_1 , ha) y el tamaño de finca (x_2 , ha) ($Y = 0.39 - 1.08x_1 + 1.01x_2$; $R^2 = 0.99$). El área de pastura únicamente mostró relación significativa ($p < 0.01$) con el tamaño de la finca (x) ($Y = 17.93 + 0.43x$; $R^2 = 0.85$). La gramínea prevaleciente fue *P. clandestinum*, utilizadas bajo un sistema de pastoreo rotacional intensivo, 0.5 y 30 días como períodos de ocupación y descanso respectivamente y una carga animal promedio de 2.63 UA ha⁻¹. La fertilización utilizada fue en promedio de 200 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

La productividad de leche en las fincas presentó un promedio de 9013 kg ha⁻¹ año⁻¹. El comportamiento de dicha variable en relación a la carga animal (x) fue mejor explicado (p<0.01) por el modelo de regresión cuadrático ($Y = -1225.47 + 4546.04x - 185.53x^2$; $R^2 = 0.80$). Las razas de ganado predominantes fueron Holstein y Jersey.

En el manejo de los desechos orgánicos, el 77% de las fincas encuestadas los destinan por medio de canales a las pasturas como fertilizante; 14% los dirigen a las corrientes de agua cercanas; el 6% practica el reciclaje por medio del lombricompostaje y el 1% los conducen a tanques de captación.

El análisis de conglomerados identificó 4 grupos de fincas lecheras y las principales variables que participaron en ello fueron: tamaño de la finca, área de bosque, área de plantaciones forestales, área de pasturas y la productividad.

A nivel de conocimiento local, los finqueros revelaron los beneficios de los árboles para la finca, la sociedad y el ambiente; así como también señalaron las limitantes de éstos sobre la productividad de las pasturas. En el 80% de las fincas lecheras el componente arbóreo y arbustivo se encontró distribuido en árboles dispersos en potreros y cercas vivas. En el estudio detallado del componente arbóreo y arbustivo en pasturas, las especies de mayor presencia fueron *Erythrina* spp. y el *Alnus acuminata*, con el 60 y 18%, respectivamente. En la modalidad árboles dispersos en potreros se encontró una densidad promedio de 10.11 individuos ha⁻¹ con predominio del *A. acuminata*. En cercas vivas la densidad lineal promedio determinada es de 0.13 km ha⁻¹ con mayor frecuencia de *Erythrina* spp.

En el segundo estudio fueron seleccionados los sistemas silvopastoriles (SSP) de *A. acuminata* con *P. clandestinum* con edades de la especie arbórea de dos (SSP2), tres (SSP3) y cuatro años (SSP4); como testigo se consideró a las pasturas en monocultivo (PM) degradadas. Fueron utilizadas tres repeticiones (fincas) para cada una de las condiciones. En cada uno de los sistemas se estableció una parcela de dos ha para el muestreo de suelos; la medición de los árboles se realizó en dos parcelas de 300 m² para cada una de las fincas con pasturas arboladas. Las variables estudiadas fueron: a) densidad aparente (DA), b) resistencia a la penetración, c) concentración de nitrógeno (N) a 0-20 y 20-40 cm, d) carbono orgánico en el suelo (COS) a 0-20, 20-40 y 40-60 cm, e) carbono en el volumen total de madera de jaúl (CVOLTM) y c) carbono total almacenado en los sistemas. Las variables a, b, c y d fueron analizadas mediante regresiones lineales múltiples y un ANDEVA para las variables c y d. Este estudio también incluyó el muestreo de 2 sitios (fincas) de corrientes de agua: el primero con árboles dispersos en las pasturas y el segundo sin árboles en las pasturas, ambos aledaños a las corrientes de agua. En ambos se determinaron los parámetros nitratos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes fecales.

La DA varió de 1.23 a 1.08 g cm³, con tendencia a disminuir conforme aumentó la edad del jaúl. La DA (Y) mostró una relación significativa (p<0.01) con las variables edad (x₁, años) y materia orgánica (x₂, %) explicada por el modelo de regresión ($Y = 1.41 - 0.02x_1 - 0.04x_2$; $R^2 = 0.74$). Igualmente la resistencia a la penetración se comportó de manera similar a la DA con valores que variaron de 3.16 a 2.14 kg por m² conforme aumentó la edad del jaúl. La resistencia a la penetración (Y) presentó una relación significativa (p<0.01) únicamente con la

edad (x) explicada por el modelo de regresión ($Y=3.18 - 0.24x$; $R^2=0.83$). La DA y resistencia a la penetración registraron una correlación significativa ($r=0.63$; $p<0.05$). Los sistemas silvopastoriles presentaron una concentración de N en el suelo significativamente mayor ($p<0.01$) que las pasturas en monocultivo. El N mostró relación significativa ($p<0.01$) con la edad (x_1 , años) y materia orgánica (X_2 , %) para lo cual se ajustó el modelo de regresión ($Y=0.06 + 0.04x_1 + 0.02x_2$; $R^2=0.84$). El carbono total almacenado en los sistemas fue de 184.55 a 202.92 tC ha⁻¹ para PM y SSP4, en todos los sistemas el COS representó arriba del 97%. La tasa de fijación de carbono en la madera del jaúl fue de 0.53, 1.43 y 1.7 tC ha⁻¹ año⁻¹, para las edades de 2, 3 y 4 años respectivamente. La calidad de las corrientes de agua en relación a las pasturas aledañas con y sin árboles, presentaron valores menores a los establecidos por los estándares de calidad a nivel de los parámetros: nitratos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales. Cabe destacar que este último parámetro mostró concentraciones menores en el sitio pasturas con árboles dispersos

En el tercer estudio fueron seleccionadas dos fincas lecheras, una con enfoque ecológico y una finca tradicional. En la finca lechera con enfoque ecológico, se midió la producción de estiércol derivado del confinamiento (16 horas) del ganado durante 4 meses, rendimiento y calidad del lombricompost, generado después de ser sometido al proceso del lombricompostaje durante 90 días. Así también, fue realizado un análisis financiero para conocer el comportamiento de cada una de las fincas bajo los indicadores: relación C/B e Ingreso Neto ha⁻¹. La producción promedio de estiércol fresco en la finca ecológica fue de 240 kg día⁻¹. El proceso de lombricompostaje contribuye a reducir las pérdidas de nutrientes del sistema, impacto negativo en el ambiente y paralelamente minimiza el uso de fertilizantes químicos. Las fincas con enfoque ecológico y tradicional presentaron indicadores financieros positivos, sin embargo la finca tradicional los mostró superiores.

En conclusión las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, presentaron una escasa presencia del componente arbóreo dentro de las pasturas. El sistema silvopastoril jaúl con kikuyu contribuyó en mejorar las propiedades del suelo y aumentar el secuestro de carbono en el sistema. El modelo de finca lechera con enfoque ecológico reduce la contaminación ambiental con desechos orgánicos, la pérdida de nutrientes del sistema, minimiza el uso de fertilizantes químicos y paralelo a estas ventajas presenta indicadores financieros positivos.

Villanueva, CE. 2001. Livestock and benefits of silvopastoral systems in the high Virilla river watershed, San José, Costa Rica. Mag. Sc. Thesis. Turrialba, CR, CATIE. 107 p.

Key words: Virilla river watershed, landuse, silvopastoral systems, *Alnus acuminata*, tree density, bulk density, soil, nitrogen, carbon sequestration, waste production and management, ecological cattle farm, financial analysis, water quality.

ABSTRACT

The purpose of this study was to characterize cattle farms in the high Virilla river watershed, Costa Rica. It also included the detailed characterization of tree and shrub diversity and density in pastures including living fences and dispersed trees in pastures. It also evaluated the impact of the silvopastoral system *Alnus acuminata* (jaúl) with *Pennisetum clandestinum* (kikuyu) on soil recovery in degraded pastures, carbon sequestration and relationship of trees in pastures with the quality of stream water. This study also included the production and handling of organic waste in an ecological cattle farm and a financial analysis in an ecological and traditional farm.

Three studies were carried out in the high Virilla river, San José, Costa Rica, located in the geographical coordinates 9°57'30" to 10°05'00" north latitude and 83°54' 00" to 84°05'00" north longitude and an elevation of 1100 and 2950 masl. The temperature varied between 16.5°C and 18.4°C and the annual precipitation between 1800 and 3400 mm.

In the first study, interviews were carried out with 35 local cattle farmers. The purpose was to obtain information related to: land use, pasture management, cattle management, milk productivity, use and treatment of the organic waste, advantages and disadvantages of trees within pastures. The study also included a detailed characterization of the trees and shrubs in pastures, of cattle farms randomly chosen from the 35 cattle farms and within each 3, 1 ha plots were established. In each of these parcels, the species diversity and the shrub and tree density were determined, focusing on dispersed trees and live fences in pastures.

In general, the average size of the farms were of 96 ha, inside of which 85% of the area was occupied by pastures; 14% by tree and shrub vegetation and 1% by agriculture. According to the multiple of lineal regression model, the forest area (Y,ha) had a significant relationship ($p < 0.01$) with the pasture area (x_1 , ha) and the farm size (x_2 , ha) ($Y = 0.39 - 1.08x_1 + 1.01x_2$; $R^2 = 0.99$). The pasture area only showed significant relationship ($p < 0.01$) with the farm size (x) ($Y = 17.93 + 0.43x$; $R^2 = 0.85$). The grass species prevalent was the *P. clandestinum*, used under an intensive grazing system with an occupation period of 0.5 and 30 day rest periods with an average stock rate of 2.63 AU ha⁻¹. The use of fertilizers averaged 200 kg N ha⁻¹ year⁻¹.

The milk productivity in the farms averaged 9013 kg ha⁻¹ year⁻¹. The behavior of this variable in relation to the animal stock rate (x) was explained better ($p < 0.01$) by the quadratic regression pattern ($Y = -1225.47 + 4546.04x - 185.53x^2$; $R^2 = 0.80$). The predominant livestock breeds were Holstein and Jersey. In the organic waste management, 77% of the cattle farms interviewed dispose of waste through channels into the pastures as fertilizers, 14% send them to the nearby water streams, 6% recycle them through worm compost, and 1% send them to receptacle tanks.

The conglomerate analysis identified 4 groups of cattle farms and the main variables were: the farm size, forest area, forestry plantations, area of pastures and farm productivity. With respect to local knowledge, the cattle farmers indicated the benefits of the trees within the farm, the society and the environment. As well, they pointed out the limitations of these in the productivity of the pastures. In 80% of the cattle farms, the tree and shrub component were distributed as dispersed trees in pastures and live fences. In the detailed study of the tree and shrub component in pastures, the species that were most abundant were *Erythrina* spp. and the *Alnus acuminata*, which represented 60% and 18%, respectively. The modality of dispersed trees in pasture had an average density of 10.11 trees ha⁻¹ with predominance of *A. acuminata*. In live fences, the lineal density average was 0.13 km ha⁻¹, with *Erythrina* spp. dominating.

In the second study, the silvopastoral systems (SPS) with *A. acuminata* with *P. clandestinum* species were selected. The trees were between the tree ages of two (SPS2), three (SPS3) and four years (SPS4); and the control was considered as a monocultural degraded pasture (PM). Three repetitions were used (farms) for each one of the conditions. In each one of the systems, a parcel of two ha was established for soil sampling. The measurement of the trees was carried out in two plots of 300 m² for each one of the farms. The variables measured were: a) bulk density (BD), b) penetrometer resistance, c) nitrogen concentration (N) from 0-20 cm and 20-40 cm, d) organic carbon in the soil (SOC) from 0-20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm, e) carbon in the wooden total volume of the Jaúl tree (CWTVOL) and f) total carbon stored in the systems. The variables a, b, c and d were analyzed by means of multiple lineal regressions and an analysis of variance was used for the variables c and d. Two (2) sites adjacent to streams were sampled, one with dispersed trees in pastures and one without trees in pastures. The stream was measured for nitrates, oxygen biochemical demand and fecal coliformes.

The BD varied from 1.23 to 1.08 g cm³, with a tendency to diminish as the age of the Jaúl trees increased. The BD (Y) demonstrated a significant relationship (P<0.01) with the age variable (x₁, years) and organic matter (x₂, %) by means of the equation (Y= 1.41 - 0.02x₁ - 0.04x₂; R²=0.74). The penetrometer resistance was similar to the BD values in that they both varied between 3.16 and 2.14 kg per m² as the age of the Jaúl tree increased. The resistance to the penetration (Y) demonstrated a significant relationship (p < 0.01) only with the age (x) by means of the equation (Y=3.18 - 0.24x; R²=0.83). The BD and the penetrometer resistance were significantly correlated (r=0.63; p<0.05). The nitrogen concentration in the soil was significantly higher (p<0.01) in silvopastoral systems than monoculture pasture. The nitrogen showed a significant relationship (p<0.01) with the age of the jaúl (x₁, years) and organic matter (x₂, %) for that which the pattern was adjusted (Y=0.06 + 0.04x₁ + 0.02x₂; R²=0.84.). The total carbon stored in the systems varied from 184.55 to 202.92 t C ha⁻¹ for PM and SPS4; of all the systems the SOC represented over of 97%. The rate of fixation of carbon in the wood of the Jaúl tree was 0.53, 1.43 and 1.7 tC ha⁻¹ year⁻¹, for the ages of 2, 3 and 4 years old, respectively. The trees in the pastures had influence on the reduction of the contaminants into the stream, mainly on fecal coliformes.

In the third study two cattle farms were selected, one with an ecological focus and a traditional farm. In each one a financial analysis was carried out to determine the behavior of each with relation to the following indicators: Cost Benefits (B/C) and Net Income ha^{-1} . In the farm with an ecological focus, the production of manure obtained from the confined livestock was measured twice a month for a period of 4 months. The yield and quality of the generated lombricompost was determined, after being subjected to the lombricompostage process during 90 days. The average production of fresh manure in the ecological property was 240 kg day^{-1} , in addition the lombricompostage process reduces the loss of nutrients from the system, lessens the negative impact on the environment and furthermore it minimizes the use of chemical fertilizers. Both cattle farms presented positive financial indicators, however the traditional cattle farm showed higher values.

In conclusion the cattle farms of the Virilla river high watershed presented a scarce presence of the tree component inside the pastures. The silvopastoral system jaúl with kikuyu contributed in improving the properties of the soil and to increase the carbon sequestration in the system. The farm with ecological focus reduced the environmental contamination with organic waste, the loss of nutrients from the system and furthermore it presented positive financial indicators.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	viii
INDICE DE CONTENIDO	xi
INDICE DE CUADROS	xiv
INDICE DE FIGURAS	xvi
INDICE DE ANEXOS	xvii
GANADERÍA Y BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA	1
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
1. Cuencas hidrográficas, como unidad para el manejo integral de los recursos naturales	4
2. Cuencas y actividad ganadera.....	5
3. Degradación de pasturas	6
4. Sistemas silvopastoriles	7
5. Contribución de los sistemas silvopastoriles en el mejoramiento del recurso suelo	8
6. Beneficios sociales y económicos de los sistemas silvopastoriles	11
7. Aporte ecológico de los sistemas silvopastoriles en el secuestro de carbono	12
8. Características de la cuenca alta del río Virilla	15
9. Bibliografía	20
V. ARTÍCULO 1	26
CARACTERIZACION DE LAS FINCAS LECHERAS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA	26
1. Introducción	26
2. Materiales y Métodos	27
2.1. Localización y descripción del área de estudio	27
2.2. Selección de las fincas	28

2.3. Análisis de la información.....	30
3. Resultados.....	32
3.1. Caracterización general de las fincas.....	32
3.2. Caracterización arbórea y arbustiva en pasturas.....	39
4. Discusión.....	39
4.1. Usos de la tierra.....	39
4.2. Productividad de la finca.....	41
4.3. Manejo de los desechos orgánicos.....	41
4.4. El componente leñoso y el conocimiento local de los ganaderos.....	42
4.5. Grupos de fincas.....	43
4.6. Caracterización arbórea y arbustivas en pasturas.....	44
4.7. Aplicación del estudio.....	46
5. Conclusiones.....	47
6. Recomendaciones.....	47
7. Bibliografía.....	48
VI. ARTICULO 2.....	51
IMPACTO DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PASTURAS DEGRADADAS, CALIDAD DE CORRIENTES DE AGUA Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL SECUESTRO DE CARBONO EN LECHERÍAS DE ALTURA, SAN JOSÉ, COSTA RICA.....	51
1. Introducción.....	51
2. Materiales y métodos.....	53
2.1. Localización del sitio.....	53
2.2. Selección de fincas para muestreo.....	53
2.3. Variables evaluadas.....	54
2.4. Calidad de las corrientes de agua.....	56
2.5. Análisis Estadístico.....	57
3. Resultados.....	58
3.1. Densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo.....	58
3.2. Nitrógeno total.....	59
3.3. Carbono total almacenado.....	60
3.4. Calidad de las corrientes de agua.....	61
4. Discusión.....	63
4.1. Densidad aparente y resistencia a la penetración.....	63
4.2. Nitrógeno total.....	64

4.3. Carbono total almacenado	64
4.4. Sistemas silvopastoriles y la calidad de las corrientes de agua	66
4.5. Aplicación del estudio	68
5. Conclusiones	69
6. Recomendaciones	70
7. Bibliografía	71
VII. ARTICULO 3.....	76
BENEFICIOS DE UN MODELO DE GANADERÍA ECOLÓGICA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA.....	76
1. Introducción	76
2. Materiales y Métodos	78
2.1. Localización del área de estudio	78
2.2. Selección de fincas	78
2.3. Consumo de agua en el lavado de los desechos orgánicos en las fincas ecológica y tradicional	78
2.4. Manejo del estiércol o boñiga en una finca lechera con enfoque ecológico	79
2.5. Análisis financiero de las fincas	81
2.6. Análisis de la información.....	81
3. Resultados	83
3.1. Finca ecológica	83
3.2. Finca tradicional	84
3.3. Producción y manejo del estiércol en una finca con enfoque ecológico	85
3.4. Análisis financiero	87
4. Discusión	89
4.1. Producción y calidad del estiércol en una finca lechera con enfoque ecológico	89
4.2. Análisis financiero	90
4.3. Aplicación del estudio	91
5. Conclusiones	91
6. Recomendaciones	92
7. Bibliografía	93
IX. ANEXOS.....	94

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución porcentual del uso de la tierra en la cuenca alta del río Virilla, según imagen de satélite de 1996.	18
Cuadro 2. Lista de variables cuantitativas y cualitativas consideradas en la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. 2001.....	31
Cuadro 3. Listado de variables incluidas en el análisis de conglomerados de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.....	32
Cuadro 4. Destino de los desechos orgánicos procedentes de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	36
Cuadro 5. Percepción de los ganaderos acerca de los beneficios que brindan los árboles en la finca, en la cuenca alta del Virilla, San José, Costa Rica, 2001. (en orden decreciente; n=35).....	37
Cuadro 6. Comportamiento de las principales variables que participaron en la formación de los conglomerados de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	38
Cuadro 7. Densidad de árboles y arbustos dispersos en pasturas de fincas lecheras, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	39
Cuadro 8. Carbono orgánico secuestrado ($tC\ ha^{-1}$) a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas en monocultivo y asociadas con jaúl de diferentes edades, San José, Costa Rica, 2001.	61
Cuadro 9. Carbono total almacenado en las pasturas sin árboles y en pasturas asociadas con jaúl de diferentes edades, San José, Costa Rica, 2001.....	61
Cuadro 10. Características de los sitios definidos para el monitoreo de calidad de corrientes de aguas, en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.....	62
Cuadro 11. Calidad de las corrientes de agua en diferentes puntos de muestreo dentro de fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.....	62

Cuadro 12. Características de las fincas ecológica y tradicional en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	79
Cuadro 13. Lista de variables consideradas en la estimación de los ingresos y costos para el análisis financiero en la finca con enfoque ecológico y finca tradicional, San José, Costa Rica, 2001.	82
Cuadro 14. Producción de estiércol fresco durante 16 horas de confinamiento, en una finca lechera con enfoque ecológico en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	86
Cuadro 15. Consumo de agua en el lavado de los desechos orgánicos en las fincas lecheras ecológica y tradicional, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	86
Cuadro 16. Eficiencia de conversión (EC) de estiércol fresco a lombricompost después de 90 días de exposición al proceso de lombricompostaje con la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>). San José, Costa Rica, 2001.	87
Cuadro 17. Resumen del análisis financiero (en Colones CR) en una finca con enfoque ecológico y una finca tradicional en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las fincas seleccionadas para la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.....	29
Figura 2. Distribución promedio de los usos de la tierra en fincas lecheras, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	33
Figura 3. Relación entre el área de pastura y el tamaño de finca en lecherías de la cuenca alta del río Virilla, San José Costa Rica, 2001.	34
Figura 4. Relación entre la productividad de leche y la carga animal en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José Costa Rica, 2001.....	35
Figura 5. Comportamiento de la densidad aparente en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM=0) y sistemas silvopastoriles (SSP) con jaúl de diferentes edades, San José, Costa Rica, 2001. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.....	58
Figura 6. Relación entre la resistencia a la penetración del suelo y la edad del jaúl en los sistemas silvopastoriles (SSP), en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001. (0= pasturas en monocultivo).....	59
Figura 7. Concentración de nitrógeno total a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM) y asociadas con jaúl en distintas edades (SSP2, SSP3, SSP4), San José, Costa Rica, 2001. (Letras distintas denotan diferencia significativa, según prueba de Duncan $p < 0.01$).	60
Figura 8. Diagrama con las entradas, componentes, interacciones y productos generados en una finca lechera con enfoque ecológico, San José, Costa Rica, 2001.	84
Figura 9. Diagrama con las entradas, componentes, interacciones y productos generados en una finca tradicional, San José, Costa Rica, 2001.	85

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio, cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	94
Anexo 2. Formato de encuesta.....	95
Anexo 3. Especies que conforman la cobertura arbórea y arbustiva en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	102
Anexo 4. Salida de SAS sobre Análisis de conglomerados (cluster), discriminante canónico (stepdisc).	103
Anexo 5. Análisis de varianza para los grupos de fincas generados en el análisis de conglomerados, San José, Costa Rica, 2001.....	105
Anexo 6. Análisis de varianza para nitrógeno total en suelos bajo sistemas silvopastoriles y pasturas en monocultivo en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.	106
Anexo 7. Análisis de varianza para carbono orgánico en el suelo bajo sistemas silvopastoriles y pasturas en monocultivo en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.....	106

GANADERÍA Y BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La expansión de la ganadería en Latinoamérica, está asociada a la deforestación, el más importante cambio en el uso de la tierra ha ocurrido en los últimos 30 años en la transformación de bosques a pasturas, y se destaca que entre 1981 y 1990 se perdieron 75 millones de hectáreas de bosques, la mayoría con destino para ganadería extensiva (FAO 1993). Sin embargo además de la ganadería existen otras causas principales de la degradación de los bosques como la agricultura, diseminación de enfermedades, incendios, sobreexplotación para madera o leña y otras como tormentas y huracanes FAO (2001).

En América Central muchas laderas se han erosionado a causa del sobrepastoreo (Pezo et al. 1992); incapacidad de las pasturas de mantener un grado aceptable de cobertura y producción de biomasa a lo largo del año a causa de un manejo incorrecto, por ejemplo alta carga animal, largos períodos de ocupación y cortos períodos de descanso en toda época. Esta situación ha provocado que más del 50% de las tierras bajo pasturas se encuentren en un estado avanzado de degradación (Szott et al. 2000). Al conjugar niveles significativos de erosión en suelos con una gran superficie empastada se pueden dar casos donde este componente sea la principal fuente de sedimento en una cuenca (Kaimowitz 1992). La productividad de los sistemas de producción bovina han tendido a declinar en las últimas décadas, como consecuencia de la implementación de sistemas más extensivos y el uso de suelos de menor fertilidad, aunado al hecho de incorporar especies de gramíneas forrajeras no adaptadas, lo cual ha ocasionado una mayor proporción de pasturas degradadas y poco productivas (Pezo et al. 1992). Este panorama es producto del bajo cambio tecnológico en el manejo de la ganadería (Serrao y Toledo 1990).

La mayoría de explotaciones ganaderas especializadas en la producción de leche, en el caso de Centroamérica, las condiciones climáticas favorables donde operan están asociadas con terrenos muy escarpados y en muchos casos la misma intensificación de los sistemas exige

utilizar una alta carga animal, fenómeno que incide en una menor cobertura vegetal dentro del área destinada para pasturas. Esta situación hace más vulnerable al deterioro a los recursos naturales (suelos, agua y biodiversidad) a nivel de cuencas hidrográficas.

Ante todo este panorama la introducción de especies leñosas a los sistemas de producción ganadera, surge como una estrategia que puede contribuir a contrarrestar los impactos ambientales negativos de los sistemas tradicionales (Pezo e Ibrahim 1999). Además constituye un mecanismo para diversificar las empresas pecuarias y con ello generar nuevos ingresos (Pezo e Ibrahim 1999, Botero et al. 1999, Silva y Mazuchowski 1999). En Costa Rica, más del 90% de las fincas ganaderas tienen árboles dispersos en los potreros para proveer sombra a los animales y generar otros beneficios, como la venta de madera y el mejoramiento del paisaje. En otro sentido, más del 75% de las fincas ganaderas tienen cercas vivas para separar los pastizales (Guevara et al. 1994, Harvey y Haber 1999). Este nuevo enfoque de explotación de los recursos fue considerado en los avances de la convención de cambio climático de Kioto, en donde se valoró como alternativa prioritaria el desarrollo de la ganadería con enfoque silvopastoril, y con ello aprovechar la capacidad de generación de los principales beneficios ambientales, como lo son: restauración de los suelos y conservación de agua; secuestro de carbono y conservación de la biodiversidad (Camero et al. 2000 y Murgueitio 2000).

Los sistemas de producción bovina en las cuencas incluyen actividades definitivamente importantes, las cuales son el ente central de la persistencia social y económica de muchas familias. Esta actividad bajo enfoque silvopastoril ofrece mayores potencialidades que muchos sistemas agrícolas y de uso del territorio para realizar significativas contribuciones al manejo de los recursos naturales (Murgueitio 2000).

En el presente trabajo se presentan los resultados sobre la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, incluyendo en la misma la tipificación del componente arbóreo y arbustivo en términos de diversidad y densidad en pasturas a nivel de cercas vivas y árboles dispersos en potreros; el impacto del sistema silvopastoril jaúl (*Alnus acuminata*) con kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) en la recuperación de suelos de pasturas degradadas, secuestro de carbono y la relación de árboles dispersos en potreros con la calidad

de corrientes de agua; la producción y manejo de desechos orgánicos en una finca ecológica y los indicadores financieros relación Beneficio/Costo e Ingreso Neto ha^{-1} de una finca con enfoque ecológico y una finca tradicional.

II. OBJETIVOS

General:

Generar información sobre la situación actual de la ganadería lechera y los beneficios de los sistemas silvopastoriles a nivel de la cuenca alta del río Virilla.

Específicos:

- ?? Caracterización de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla.
- ?? Determinar la diversidad y densidad de árboles y arbustos en fincas lecheras a nivel de las modalidades silvopastoriles árboles dispersos en potreros y cercas vivas.
- ?? Determinar el efecto del sistema silvopastoril conformado por *A. acuminata* y *P. clandestinum* sobre la densidad aparente, resistencia a la penetración y nitrógeno total en el suelo.
- ?? Estimación del secuestro de carbono orgánico en el suelo y en el volumen total de madera en sistemas silvopastoriles conformados por *A. acuminata* de diferentes edades.
- ?? Conocer el efecto de la modalidad silvopastoril árboles dispersos en potreros (pasturas) sobre la calidad de aguas superficiales, bajo los parámetros nitratos, demanda bioquímica de oxígeno y coliformes fecales .
- ?? Identificar los beneficios de un modelo de finca ganadera con enfoque ecológico en la cuenca alta del río Virilla.

III. HIPÓTESIS

- ?? El tamaño de las fincas lecheras ha influido en la extensión de la cobertura arbórea y arbustiva en las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla.
- ?? La incorporación de *A. acuminata* en pasturas degradadas mejora las características del suelo en términos de densidad aparente, resistencia a la penetración y concentración de nitrógeno.
- ?? El carbono total almacenado por el sistema silvopastoril *A. acuminata* y *P. clandestinum* es superior a los sistemas de pasturas en monocultivo.
- ?? Los árboles dispersos en potreros contribuyen a reducir la contaminación de las corrientes de agua.
- ?? Los modelos de producción bovina con enfoque ecológico reducen el consumo de agua, la pérdida de nutrimentos del sistema y presentan indicadores financieros positivos en términos de relación Beneficio/ Costo e Ingreso Neto ha⁻¹.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Cuencas hidrográficas, como unidad para el manejo integral de los recursos naturales

Una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o “divisoria de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río. La cuenca se divide en subcuenca y microcuenca. El área de la subcuenca está delimitada por la divisoria de aguas de un afluente, que forma parte de otra cuenca, que es la del cauce principal al que fluyen sus aguas. La microcuenca es una agrupación de pequeñas áreas de una subcuenca o parte de ella.

La cuenca la conforman componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que están todos

interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos, se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema (Ramakrishna 1997). Así, desde el momento que una familia o un núcleo de población se ubica dentro de una cuenca hidrográfica se inicia un proceso de presión sobre sus recursos naturales. A corto, mediano y largo plazo aparecen efectos e impactos que se traducen en escenarios de deterioro de los recursos con una tendencia a procesos de insostenibilidad (Reiche 1998). Los recursos naturales (agua, suelo, biodiversidad) de la cuenca son renovables, pueden reemplazarse por vía natural o mediante la intervención humana, por el contrario, no son renovables cuando no se les puede reemplazar en un período de tiempo significativo, en términos de actividades humanas a que están sometidos (Ramakrishna 1997).

2. Cuencas y actividad ganadera

El concepto de cuenca también ayuda a integrar el concepto de ordenación territorial. Es conveniente entender que existen áreas importantes que nunca tuvieron que dedicarse a pastos y que debieron dejarse en manos de la madre naturaleza para que en ellas creciera un frondoso bosque secundario. De esta manera se llevaría a cabo un manejo muy simple pero sostenible, y se produciría carbono y agua. Este es el argumento central, ya que a los ingredientes anteriores de las zonas de pastizales planos podríamos añadir unas plantaciones ralas de árboles maderables y eso nos permitirá fijar carbono y producir madera en forma amigable. Es decir, sin destruir los bosques naturales, ya que la madera obtenida por estas formas alternativas descongestionaría la presión por madera de bosques primarios. Esta sería una actividad armónica con la ganadería y ayudaría a los flujos de caja de los árboles en los períodos de espera (Aguirre 2000).

La ganadería y los bosques, cuando se combinan y se armonizan ecológica y financieramente alcanzan rentabilidades que oscilan entre 7 y 18 por ciento, dependiendo del paquete de inversiones en que se incluyan y de las prácticas de manejo; lo cual no es posible si ambas actividades se realizan de manera aislada (Aguirre e Ibrahim, López, citados por Aguirre 2000). El manejo adecuado de los pastos, el establecimiento de sistemas silvopastoriles, y especialmente el manejo durante el verano y en las laderas, se convierten en los grandes

desafíos para lograr una ganadería rentable y congruente con el objetivo de crear condiciones propicias para la venta de servicios de mejor calidad y con mayor cantidad de agua en las cuencas (Aguirre 2000).

3. Degradación de pasturas

Una pastura degradada se define como un área utilizada en ganadería generalmente con una cobertura de gramíneas o ciperáceas, con grados de enmalezamiento, de compactación de suelo, erosión, tales que su productividad biológica y económica es inadecuada. Bajo estas condiciones los terrenos no responden en productividad, a las prácticas de manejo normales, para la especie principal de la pradera (Argel 1992). También se define como un cambio negativo en la condición de la pastura, o en forma más simple como una reducción en la calidad de la pastura y consecuentemente de la productividad animal, que sería el parámetro más importante afectado por la degradación de la pastura.

La calidad o condición de la pastura es la suma de varios parámetros, tales como: composición botánica, reducción de la cobertura vegetal, disminución de la fertilidad del suelo, pérdida de especies deseables y aparición de especies indeseables con relación a un óptimo económico o ambiental. Entre las causas principales de la degradación de pasturas figuran: uso de germoplasma no adaptado, sobrepastoreo y compactación del suelo, quemas no controladas, prácticas de labranza inapropiadas, ausencia de coberturas vegetales, carencia de métodos de conservación de suelos y manejo ineficaz de la fertilidad del suelo (Serrao y Toledo 1990, Pezo e Ibrahim 1996). Ello ha provocado reducción de nutrientes y materia orgánica del suelo; disminución de la capacidad de transporte y retención de agua en el perfil del suelo. Procesos que originan una serie de efectos; merman el crecimiento de las pasturas, reducen la capacidad de las especies forrajeras para recuperarse después del pastoreo, eventualmente decrece la persistencia de la pradera y de la cobertura del suelo, incrementan la erosión, aumenta la incidencia de plagas y enfermedades y la colonización frecuente de la pastura por malezas o árboles mejor adaptados a las condiciones de suelos marginales (Serrao et al. 1979, Toledo y Morales 1979).

Szott et al. (2000), indican que las pasturas degradadas provocan otros disturbios ambientales y económicos tales como; el crecimiento de la deforestación, reducción de la biodiversidad y el uso de tierras marginales de baja fertilidad. Estos mismos autores aducen que las causas de la degradación están conexas a limitaciones de políticas nacionales que estimulen a los productores a buscar la eficiencia de producción, como las siguientes: baja demanda interna de productos de origen animal, especialmente por motivos de calidad y precio de los mismos; deficiencia en los sistemas de transporte, almacenamiento y distribución, procesamiento, control de calidad y comercialización; carencia de legislación y coordinación institucional a nivel del sector público y privado en términos de formulación, integración e implementación de políticas y actividades que beneficien o proporcionen incentivos a la industria ganadera; escasez de crédito e incentivos económicos para satisfacer la demanda de capital hacia el mejoramiento a largo plazo en el uso de la tierra o proyectos que requieren grandes inversiones; inseguridad en la tenencia o impedimento legal de la tierra para un seguro uso de ella, y el retiro del sector público de estas áreas causó un vacío en las actividades de investigación, extensión y monitoreo, adjunto a la reducida capacidad de organizaciones privadas como las asociaciones de ganaderos para asumir estos roles.

4. Sistemas silvopastoriles

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbustos), interactuando con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales), y todos ellos están bajo un sistema de manejo integrado, tendiente a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo. Entre los SSP más comunes están: cercas vivas, bancos de proteína y/o energía, leñosas perennes como barreras vivas en áreas de pendiente, como parte de un sistema de "corte y acarreo" para la suplementación de ganado estabulado, sistema de cultivo en callejones con leguminosas arbóreas o arbustivas intercaladas con forrajeras herbáceas, plantaciones de árboles maderables o frutales con forrajeras herbáceas como cobertura, cortinas rompevientos en fincas ganaderas y pastoreo en charrales, tacotales o matorrales (Pezo e Ibrahim 1996).

Los sistemas silvopastoriles reúnen una serie de atributos que los vuelven atractivos para los productores, tales como: producen forrajes y otros productos de valor como frutas y madera,

mitigan el efecto del calor y del frío en los animales, reciclan nutrientes al suelo, controlan la erosión del suelo, ofrecen sostenibilidad a las pasturas, favorecen la vida silvestre, conservan por más tiempo la humedad del suelo propiciando con ello el crecimiento de la vegetación acompañante (Giraldo 1996, Libreros 1996, Somarriba 1997, Carvalho 1997, Cruz et al. 1999). Con respecto a los árboles es preferible que sea de usos múltiples, leguminosas perennes, que presenten tolerancia al pisoteo de los animales y capacidad de rebrote después del corte (Giraldo 1996 y Libreros 1996). Es conveniente que los sistemas silvopastoriles sean lo suficientemente flexibles para permitir que se puedan cambiar rápidamente y de manera temporal, intermitente o permanente a cualquier otro tipo de explotación con cultivos agrícolas bajo los árboles (agrosilvopasturas), cuando sea necesario renovar, resembrar, complementar o cambiar el componente arbóreo o herbáceo de la silvopastura, o cuando el momento económico del país, la región o la finca así lo exijan (Botero 1995).

5. Contribución de los sistemas silvopastoriles en el mejoramiento del recurso suelo

La tendencia mundial en los últimos años ha sido la de reducir el uso de fertilizantes minerales, no sólo por sus altos costos, sino también por los daños que provoca en la ecología, el potencial productivo de los suelos agrícolas, la calidad de los alimentos y la salud del hombre (Hernández 1998). El suelo es uno de los recursos esenciales para la producción agropecuaria y está sujeto a procesos de deterioro debido al mal manejo. Los estudios han demostrado que cuando el suelo ha sido fuertemente erosionado, el rendimiento de las cosechas disminuye desde un 20 hasta 60%, comparado con el obtenido en los no erosionados (Masseo 1990).

En sentido general los árboles, provistos de un poderoso sistema radicular, son capaces de movilizar los nutrientes minerales necesarios a las plantas y a los animales desde las capas profundas de la tierra e incorporarlos a la superficie, con lo que se alcanza un mayor reciclaje. De los elementos minerales, el nitrógeno es el que comúnmente limita el crecimiento de las plantas; sin embargo, éste puede ser obtenido por medio de procesos naturales, ya sea por fijación de nitrógeno atmosférico o mediante el reciclaje. En este sentido los árboles leguminosos tienen la ventaja de fijar el nitrógeno atmosférico mediante los rizobios que viven en simbiosis con sus raíces e incorporarlo a través de la hojarasca y las ramas muertas; ello

reviste gran importancia para el trópico si se considera que el 93% de los suelos en América son deficientes en nitrógeno (Febles et al.1995). Carvalho (1997) y Esquivel (1997) encontraron que los árboles fijadores de nitrógeno muestran un potencial para aumentar el nitrógeno y otros nutrimentos en el suelo. Aunque destacan que este efecto se torna más significativo en suelos de baja fertilidad o en estado de degradación.

Otro elemento conocido como deficiente en la mayoría de suelos tropicales es el fósforo, sin embargo, muchos estudios confirman que el uso de los árboles también puede contribuir al incremento de este elemento. Ello se atribuye a la interacción con las micorrizas que aumentan la absorción del sistema radical e incrementan la toma de ciertos nutrimentos, especialmente el fósforo. En tal sentido se ha informado que la *Gliricidia sepium* puede presentar una infección de micorrizas arbusculares en sus raíces que varía entre un 25 y 82 %, lo cual le permite desarrollarse bien en suelos con un bajo contenido de fósforo (Kang y Mulongoy 1987). En los sistemas en que está presente el árbol la materia orgánica del suelo se mantiene en niveles satisfactorios para su fertilidad; el reciclaje de las bases en los residuos de los árboles puede reducir la acidez del suelo o frenar el proceso de acidificación, además de controlar la erosión y disminuir las pérdidas de materia orgánica y nutrimentos (Young 1989).

Las condiciones físicas del suelo también son favorecidas, ya que las raíces de los árboles mejoran su estructura (al romper las capas duras), la porosidad y la capacidad de retención de agua y tienden a reducir la salinidad. Pero no solamente es importante mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos, sino también las biológicas, ya que la fauna edáfica contribuye a la descomposición de los residuos vegetales; los árboles pueden beneficiar la actividad biológica debido al aporte de materia orgánica, la cual constituye una fuente de energía para el desarrollo de los organismos vivos del suelo, además de proteger al suelo de la luz directa y el calor, lo cual crea un microclima más propicio para su desarrollo biológico (Hernández 1998).

Sin embargo, en el trópico americano se han realizado varios estudios que confirman el efecto de los árboles como mejoradores de la fertilidad del suelo en pasturas, bajo distintos ambientes y condiciones de manejo del componente arbóreo, a continuación se citan algunos.

Bustamante et al. (1998), sostiene que bajo este tipo de sistemas ocurren cambios positivos en las características físicas y químicas del suelo en parcelas de gramíneas forrajeras asociadas con *Erythrina* sp en comparación al monocultivo, lo cual se atribuye al ciclado de nutrientes cuando está presente la especie arbórea. Al respecto el aporte de nutrientes al suelo (kg/ha/año) por el poró bajo un manejo de dos podas fue de 331 de N, 32 de P, 156 de K, 319 de Ca y 86 de Mg.

Rodríguez y Murgueitio (1995), al analizar un sistema silvopastoril con pasto estrella (*Cynodon plectotachyus*) y *Erythrina fusca*, encontraron un aumento en los niveles de materia orgánica y nitrógeno orgánico al compararlo con los lotes que tenían solamente la gramínea; lo mismo sucedió con el fósforo y el potasio, por lo que se alcanzó una producción sostenida de forraje sin la aplicación de fertilizantes externos.

Bolívar et al. (1999), determinó que el asocio de *Acacia mangium* con *Brachiaria humidicola* mejoró la productividad y valor nutritivo de la pastura, en suelos con alta saturación de aluminio. Velasco et al. (1999) en un estudio similar sostiene que la incorporación de la leguminosa *Acacia mangium* a las pasturas de *Brachiaria humidicola*, brinda un aporte significativo en suelos ácidos en lo referente a incremento de humedad y de los elementos minerales nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y manganeso. También en este asocio los autores señalan que ésta especie leguminosa favorece la solubilización de fósforo y contribuye a que la pastura lo capture más eficientemente.

En las partes altas de Colombia (2300 msnm) , se ha incorporado a las pasturas de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) la especie *Alnus acuminata*, para que contribuya a la fijación de nitrógeno atmosférico, descompactación del suelo y que además ayude a la regulación hídrica y ciclaje de nutrientes en las praderas. Esto es deseable porque permite reducir la dependencia de insumos externos, elimina el impacto de la fertilización química y atenúa el efecto erosivo del pisoteo del ganado (Murgueitio y Calle 1999).

6. Beneficios sociales y económicos de los sistemas silvopastoriles

Los beneficios sociales y económicos se pueden interpretar de diferentes maneras, ya que dependen del tipo de sistema, su tamaño, los productos, la intensidad, las inversiones necesarias, los costos operativos y los costos de oportunidad de la tierra en la región. Para los sistemas extensivos, el silvopastoreo tiene costos mínimos y sus ventajas están en la obtención de uno o varios productos de extracción adicional a los animales. En los sistemas que utilizan la sucesión vegetal, los costos de manejo, la recolección de frutos y las podas tienden a ser inferiores a los beneficios obtenidos por una mejor alimentación para los animales, menores pérdidas en la época seca, menor estrés calórico y la extracción de madera para postes o leña. Sin embargo, muy pocos trabajos se han realizado sobre estos temas (Murgueitio 2000).

- ?? Históricamente, por más de 90 años en zonas de altura con suelos volcánicos en Costa Rica, algunos ganaderos han sembrado aliso o jaúl (*Alnus acuminata*) asociado con pasto kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) y con gramíneas para corte como pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). Estos ganaderos afirman que sus vacas producen más leche en estas silvopasturas que en pasturas sin árboles. Los árboles de aliso son seleccionados para corte, después de 15 a 20 años de crecimiento, cuando alcanzan 35 a 40 cm de diámetro y proporcionan leña y madera. (Russo 1990).
- ?? Holmann et al. (1992), sostienen que el enriquecimiento de cercas vivas con árboles maderables aportan un incremento del 15% en los ingresos de las fincas lecheras, bajo condiciones de la zona atlántica de Costa Rica.
- ?? Ramos (1996), señala que fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, que utilizan bancos forrajeros con morera (*Morus alba*) dentro del programa de alimentación, presentan un VAN superior a los sistemas tradicionales, con el agregado que los primeros se constituyen como una fuente de menor contaminación al ambiente, por el hecho de usar abono orgánico procedente del estiércol producido en la finca y menor consumo de fertilizantes químicos.

- ?? Ibrahim et al. (1997), determinaron que las pasturas en callejones pueden incrementar el 20% de la producción de leche por vaca en sistemas de doble propósito.
- ?? Jiménez (1997), determinó la viabilidad económica y financiera en la crianza de terneras de lechería desde el destete, hasta 120 Kg de peso y a 5 meses de gestación, alimentadas con morera (*Morus alba*) fresca picada *ad libitum* en combinación con 0.5 kg/animal/día de concentrado.
- ?? Gallo et al. (1999), por medio de modelos de simulación demostraron que es posible lograr incrementos en la eficiencia económica de plantaciones forestales con pastoreo estratégico por ganado de carne en el sotobosque.
- ?? Botero et al. (1999) y Jansen et al. (1997), a través de modelos de simulación, determinaron que la rentabilidad económica de las fincas ganaderas se mejora cuando el componente arbóreo es una especie maderable bien cotizada en el mercado.

Estas bondades de los sistemas silvopastoriles han sido confirmadas por los mismos campesinos en algunas comunidades; tal es el caso que, bajo condiciones de ladera en los Andes occidentales de Colombia con metodologías de investigación participativa, los campesinos valoraron en 20 % la contribución de la fertilidad del suelo al precio de la tierra. Por lo tanto, la finca que cuenta con un manejo integral que incluye bancos de proteína de diez años de vida se le atribuyó un precio 52.9 % superior al promedio del precio de las fincas vecinas y 70 % superior a la finca con manejo más descuidado de suelos (Gómez 1997).

7. Aporte ecológico de los sistemas silvopastoriles en el secuestro de carbono

La meta prioritaria en el ámbito ambiental, es reducir el CO₂ de la atmósfera. Ello significa que los sistemas de producción agropecuaria que trasladen CO₂ ocioso de la atmósfera a un ciclo biótico y lo retengan por más tiempo dentro del agroecosistema, serán sostenibles y convenientes (Montenegro y Abarca 2000). Las fuentes y depósitos de carbono en los ecosistemas terrestres la conforman la vegetación y el suelo. La vegetación, es un sustrato

muy frágil a la quema dando lugar a que se revierta el proceso de sumidero del carbono con la emisión de gases CO₂ al ambiente. Según Abarca (1997), esta situación se relaciona sobre todo con el incremento del área de pastos como consecuencia de la deforestación. Con respecto al suelo su importancia la reflejan los estudios de Fisher et al. (2000), señalando que el almacenamiento total de carbono en las praderas, sabanas y bosques tropicales es cerca de 135 Pg del cual el 80% está en el suelo.

La retención de carbono en el suelo, siguiendo los modelos conceptuales y de simulación computarizadas, separan la materia orgánica del suelo (MOS) en fracciones degradables y resistentes. Parton et al. (1987), definieron tres fracciones de MOS: fracción activa, consistente en microorganismos vivos y productos microbiales, con una duración de 2-4 años de recambio; fracción lenta, resistente a la descomposición a causa de protección física o química, con un tiempo de recambio de 20 –50 años; fracción pasiva, físicamente protegida o químicamente resistente y presenta un tiempo mayor de recambio de 800 – 2000 años. Oades citado por Fisher et al. (2000) indica que los tiempos largos de recambio de carbono en el suelo son favorecidos por materiales deficientes en nutrientes y ricos en lignina y ceras, inundaciones, bajas temperaturas, texturas arcillosas, alto nivel de bases, agregación y superficies de cargas variables. En cambio los tiempos cortos de recambio requieren materiales ricos en nutrientes y carbohidratos, aireación, altas temperaturas, texturas arenosas, acidez y superficies de cargas bajas.

Los sistemas silvopastoriles en comparación a pastos puros pueden conservar mejor la materia orgánica en los suelos, (Camero et al. 2000), en tal sentido Fisher et al. (1998), comenta que la cantidad de carbono acumulado en las gramíneas forrajeras en monocultivo fue marcadamente constante en 3 t ha⁻¹ año⁻¹ a causa de la limitante de nitrógeno en el suelo. Esta situación se supera en los sistemas donde se asocia la gramínea con leguminosas en donde se aumenta la tasa de carbono acumulado de 2.5 a 5 veces, considerando que la producción primaria neta de las raíces es la misma que la parte aérea de las plantas. López et al. (1999), en un sistema con pasto *Panicum maximum* con árboles dispersos de *Cordia alliodora* en tres edades diferentes reportan valores similares de 180 – 200 tC ha⁻¹, dicho autor comenta que la

ganancia neta de carbono en el sistema se encuentra en la madera producida a largo plazo para fines de construcción sin perjuicio del COS.

Es importante destacar que dentro de los sistemas silvopastoriles las pasturas mejoradas en comparación a las nativas demuestran un mejor comportamiento en la acumulación de COS, al respecto, Veldkamp (1993), reporta que una pastura de *Brachiaria dictioneura* retiene un 60% más de C que una pradera de pasto natural (*Axonopus compressus*), debido a una mayor biomasa y longevidad radicular, así como a un incremento en el aporte de la materia orgánica al suelo. Similar tendencia encontró en los llanos orientales de Colombia Fisher et al. (1994), quienes en un perfil de suelo de 0-1 m de profundidad reportan valores de carbono almacenado de 237 y 187 t ha⁻¹ para sistemas asociados con 6 años de edad de *Adropogon gayanus* + *Stylosantes capitata* y la pastura no mejorada de la sabana, respectivamente.

Así mismo en el trópico húmedo de Costa Rica, estudios sobre el contenido de carbono total en el suelo a un perfil de 0-10 en pasturas mejoradas y leguminosas herbáceas de 2.5 años de edad, revelaron valores entre 46.6 y 47.9 tC ha⁻¹, Ibrahim (1994). Ávila et al. (2001) en sistemas silvopastoriles de 3 años de edad de *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en asocio con *Brachiaria brizantha*, determinaron una capacidad de almacenamiento de carbono procedente de la biomasa aérea total (arriba del suelo) y abajo del suelo (0-25 cm), equivalente a 95.5 y 94.8 tC ha⁻¹, para cada sistema respectivamente. En ello es importante señalar que el COS aportado por cada uno de los sistemas correspondió al 91 y 92% respectivamente.

Con respecto a la profundidad en el suelo y la acumulación del carbono, Fisher y Trujillo (2000), señalan que más del 75% del carbono adicional se localiza por debajo de la capa arable (20 cm) en sitios con pasturas mejoradas asociadas con leguminosas. Este carbono se vuelve menos propenso a la oxidación y a la pérdida durante cualquier fase de cultivo que se practique en los sistemas integrados de pastos con cultivos (Fisher et al. 1994).

8. Características de la cuenca alta del río Virilla

8.1. Características biofísicas

8.1.1. Clima

La cuenca alta del río Virilla presenta una elevación máxima de 2950 y mínima de 1100 msndm. El clima se considera tropical lluvioso seco, el cual se caracteriza por tener una época seca bien definida de diciembre a abril y otra lluviosa de mayo a noviembre. La temperatura y precipitación pluvial anual oscilan entre 16.5°C a 18.4°C; y 1800 a 3400 mm, respectivamente. La humedad relativa oscila entre 83 – 88% (CATIE 1988).

8.1.2. Agua

El recurso hídrico generado en la zona, abastece de agua potable al 54% de la población del área metropolitana, y es utilizada para generar el 10% de la energía hidroeléctrica que se consume en el país, (Herrera 1998). Cuando en proyectos como estos, se utiliza agua que acarrea una cantidad excesiva de materiales sólidos, se tienen problemas en la estructura de toma de agua de los embalses y en los equipos electromecánicos. Esto conduce a la paulatina disminución de la capacidad de captar agua. La acumulación de sedimentos y de desechos sólidos obstruye las parrillas y llega a azolvar los embalses, produciendo erosión y abrasión a los equipos de generación, específicamente a las turbinas, lo cual obliga a incurrir en altos costos de mantenimiento y además ocasionan una reducción en la vida útil de las plantas hidroeléctricas. Se estima que como resultado de la incorporación del Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA), en los próximos 10 años se producirá una sustitución en la generación energética basada en hidrocarburos, equivalente a una reducción de emisiones de gases con efecto invernadero de 7396 Mg de carbono (Ramakrishna 1997).

8.1.3. Suelos

Los suelos de esta zona se clasifican como andosoles, suelos azonales, según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1949) y como inceptisoles según la séptima aproximación del USDA (1976). Pérez y Ramírez (1979), describen estos suelos como typic dystrandept (I-6, I7), que son suelos oscuros, profundos con buen contenido de materia orgánica, derivados de cenizas volcánicas. Se asocia con suelos de textura gruesa y baja saturación de bases, se encuentran en zonas montañosas; en este tipo de suelos se pueden presentar factores limitantes por pendiente, fertilidad y drenaje.

8.1.4. Vegetación

La vegetación arbórea de la zona es característica de bosques de altura, predominando el jaúl (*Alnus acuminata*); otras especies importantes en área son: robles (*Quercus* sp), ira rosa (*Ocotea pittieri*) y quizzará (*Nectandra cufodondissi*), cedro dulce (*Cedrela tonduzii*), plomillo (*Cariocar costarricense*), yas (*Persea schiedeana*), poró (*Erythrina* spp) y sauce (*Salís humboldtiana*).

8.1.5. Biología

Con base en la clasificación de zonas de vida, Holdridge (1978), reconoce en esta subcuenca seis zonas de vida:

Bosque húmedo premontano

Bosque muy húmedo premontano

Bosque muy húmedo montano bajo

Bosque pluvial premontano

Bosque pluvial montano bajo

Bosque pluvial montano

8.2. Características socioeconómicas

8.2.1. Movimientos migratorios

En los últimos 20 años, el territorio ubicado en la cuenca y sus alrededores han experimentado un fuerte movimiento de pobladores. El origen de los inmigrantes es muy variado, procediendo de centros urbanos del área metropolitana y de regiones rurales del país.

8.2.2. Tenencia de la tierra

En la microcuenca I (ríos Durazno y Virilla), donde el proyecto ha concentrado sus acciones, las fincas presentan áreas de 50 – 600 ha. Muchos propietarios de estas fincas no residen en ellas, constituyéndose la producción en una actividad adicional. En estas fincas, tradicionalmente se ha desarrollado la ganadería de leche, altamente tecnificada. Entre los principales problemas para el desarrollo de esta actividad se encuentran: la dependencia de insumos exógenos de la zona (concentrado comercial, banano verde, melaza, etc.) y los bajos precios de los productos en relación con los costos de producción.

8.2.3. Usos de la tierra

En los usos de este valioso recurso predominan la ganadería lechera, bosques, áreas urbanas y el cultivo del café. Las tierras del área se hallan sometidas a una fuerte presión urbana, debido al avance hacia ella, desde el sur y el oeste de un frente urbano e industrial importante, (CNFL 1998). Además de estos usos existen otros en menor escala, que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Distribución porcentual del uso de la tierra en la cuenca alta del río Virilla, según imagen de satélite de 1996.

USO DE LA TIERRA	AREA (ha)	PORCENTAJE %
Bosque	4016.19	28.54
Jaúl	680.69	4.84
Pastos	4383.13	31.15
Café	2148.81	15.27
Área Urbana	2445.81	17.38
Nubes	221.13	1.57
Sombra	144.31	1.02
Invernadero	19.50	0.15
Suelo Desnudo	10.00	0.08
TOTAL	1406957	100.00

FUENTE: Velásquez y Porras 1998.

El PLAMA – VIRILLA dentro del programa de reforestación y sistemas agroforestales, ha propuesto a los ganaderos de la cuenca alta un proyecto de incentivos forestales con la siembra de la especie maderable, principalmente jaúl (*Alnus acuminata*). El proyecto asigna un pago de 553 \$ US por ha para cinco años, distribuidos así: año uno 50%, año dos 20%, año tres 15%, año cuatro 10% y año cinco 5%. De la cuota del primer año se descuenta el costo de las plantas utilizadas para la siembra y la mano de obra implicada en el establecimiento de la plantación. Para los otros años del período, el propietario recibe los pagos respectivos para el manejo de la plantación. También se ha incorporado en algunas fincas el uso de bancos forrajeros de morera (*Morus alba*), para alimentación de ganado bovino y caprino y de leguminosas arbóreas como la *Erythrina* spp. para abono verde. Con este sistema se pretende reutilizar los desechos orgánicos de las lecherías, como abono orgánico para las plantas y así evitar el vertido directo hacia las quebradas o ríos (CNFL 1998).

8.2.4. Mano de obra

Este recurso en la zona es escaso, debido a diversas razones, entre ellas, el área de acción del PLAMA VIRILLA se encuentra muy cerca del centro del país, donde se ofrecen oportunidades laborales en los sectores servicios e industrial, las labores agrícolas en general son bien remuneradas, lo que incide en los altos costos de producción y los trabajadores

exigen beneficios adicionales como garantías sociales, casas, electricidad, leche y carne (Ramakrishna 1997).

8.2.5. Formas de organización social

Las organizaciones existentes en la subcuenca del río Virilla se pueden dividir en:

a) Comunales: Asociaciones de desarrollo comunal, uniones cantonales de desarrollo, comités de salud, juntas educativas, organizaciones religiosas, grupos de alcohólicos anónimos, comités cantonales de deportes, guías y scouts, hospicios de ancianos, hospicio de huérfanos y otros.

b) Productivas: Centros Agrícolas Cantonales (CAC), Confederación Nacional de CAC, Cámara de Productores de Leche, Asociación de Criadores de Ganado Holstein, Grupo de Productores Hortícola, Cooperativa de Productores de Leche de Coronado (COOPECORONADO), Cooperativa de Productores de Leche R.L Dos Pinos y otras.

8.3. Institucional

La cuenca del río Virilla fue seleccionada como cuenca prioritaria a nivel nacional, por el Comité Asesor Nacional para el Manejo de Cuencas (CAN), debido al interés multi-institucional que hay en ella, ya que es una zona de recarga acuífera para los principales acueductos de la Gran Área Metropolitana (GAM). Es una cuenca tributaria de cinco proyectos hidroeléctricos de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y uno del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), es la cuenca más poblada del país y posee un crecimiento urbano desordenado. La CNFL a partir de 1991, puso en marcha el proyecto denominado Plan de Mejoramiento Ambiental de la Cuenca Alta del Río Virilla (PLAMA-VIRILLA), cuyo objetivo es “contribuir a la recuperación y preservación de la Cuenca Alta del Río Virilla, con la participación de la población residente en la zona, de las instituciones públicas y privadas que aprovechan sus recursos y con la cooperación internacional”. Con ello ha podido concretar metas que son evidentes en el área de acción del PLAMA-VIRILLA.

Convenios vigentes firmados con entidades públicas como el Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM), Ministerio de Educación Pública (MEP), Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y la municipalidad de Vásquez de Coronado. Con instituciones de bien social como el Hospicio de Huérfanos de Vista de Mar, la Fundación Niños en Nuestras Manos; empresas privadas como la Cervecería Costa Rica, S.A. y Periféricos S.A.; convenios con miembros de la comunidad y con entidades internacionales como el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), han permitido a la CNFL a través del PLAMA-VIRILLA, como unidad ejecutora, atender la problemática desde diversos ángulos. Los logros obtenidos hasta el momento, así como los que se están gestando, evidencian la capacidad de interacción del PLAMA-VIRILLA con diversos sectores de la sociedad, para la consecución de propósitos comunes, los cuales sólo son posibles a través de la integración de esfuerzos de todas las partes implicadas (Herrera 1998).

9. Bibliografía

- Abarca, S. 1997. Ganadería de carne amiga del ambiente y los bosques: una alternativa de producción sostenible. *Agronomía Costarricense* 21(2):285-298 p.
- Aguirre, JA. 2000. Cuencas hidrográficas, servicios ambientales e incentivos para el desarrollo ganadero sostenible del trópico americano. In *intensificación de la ganadería en Centroamérica*. Eds. C pomareda; H Steinfeld., San José, CR. Nuestra tierra. 77-112 p.
- Argel, PJ. 1992. Problemática del pasto ratana en Costa Rica. *In Seminario Taller El Pasto Ratana (Ischaemun ciliare) en Costa Rica, alternativa o problemática en nuestra ganadería?* (1992, San Carlos, CR). San José, CR, Cooperativa de productores de leche Dos Pinos. p. 11-17.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, F; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32-35.
- Bolívar, D; Ibrahim, M; Kass, D; Jiménez, F; Camargo, JC. 1999. Productividad y calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* en monocultivo y en asocio con *Acacia mangium* en un suelo ácido en el trópico húmedo. *Agroforestería en las américas* 6(23):48-50 p.

- Botero, J; Ibrahim, M; Bouman, B; Andrade, H; Camargo, JC. 1999. Modelaje de opciones silvopastoriles sostenibles para el sistema ganadero de doble propósito en el trópico húmedo. *Agroforestería en las Américas* 6(23):60-62 p.
- Botero, R. 1995. Tecnologías básicas para una ganadería sostenible. *Carta Ganadera, Colombia*. 32(6):24-29.
- Bustamante, J; Ibrahim, M; Beer, J; 1998. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. *Agroforestería en las Américas* 5(19):11-16 p.
- Camero, A; Camargo, JC; Ibrahim, M; Schönvoigt. 2000. Agroforestería y sistemas de producción animal en América central. *In* intensificación de la ganadería en Centroamérica. Eds. C Pomareda; H Steinfeld., San José, CR. *Nuestra tierra*. 177-198 p.
- Carvalho, MM. 1997. Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro sur del Brasil. *Agroforestería en las Américas* 4(15): 5-8 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1988. Diagnóstico del estado actual de manejo y conservación de la cuenca alta del río Virilla, San José, CR. p 139.
- CNFL (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, CR). 1998. Plan de mejoramiento ambiental de la parte alta de la cuenca del río Virilla: perfil. San José, CR. CNFL. 101 p.
- Cruz, A; Suset, A; Suárez, J; Esperance, M. 1999. Aspectos socioeconómicos del proceso de introducción de los sistemas silvopastoriles en la provincia de la Habana. *Pastos y Forrajes* 22:371-379.
- Esquivel, J. 1997. Efecto del componente arbóreo de un sistema silvopastoril sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en un suelo bajo pastoreo, en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 65 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 1993. *Forest Resources Assessment 1990, Tropical Countries*. Rome. FAO Forestry Paper 112.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, IT). 2001. *La situación de los bosques en el mundo* (En línea). Roma, IT. Consultado el 5 Dic. 2001. Disponible en <http://www.ambiental.net/RedANoticias/FAOBosquesMundo2001.htm>
- Febles, JM; Riverol, M; Treto, E. 1995. Manejo agroecológico de la fertilidad de los suelos en el trópico. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba. p. 11
- Fisher, MJ; Rao IM; Ayarza, MA; Lascano, CE; Sanz, JI; Tomas, RJ; Vera, RR. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371(6494):236-238.

- Fisher, MJ; Thomas, RJ; Rao, IM. 1998. Management of tropical pastures in acid soil savannas of South America for carbon sequestration in the soil. *In* Management of carbon sequestration in soil. Eds. JM Kimble; RF Follet; BA Stewart. US, Lewis. (Advances in soil Science series). 405-420 p.
- Fisher, MJ; Trujillo, W. 2000. Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de suelos ácidos neotropicales. . *In* intensificación de la ganadería en Centroamérica. Eds. C pomareda; H Steinfeld. San José, CR. Nuestra tierra. p. 115-136.
- Gallo, L; Somarriba, E; Ibrahim, M; Galloway, G. 1999. Productividad de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*. *Agroforestería en las américas* 6(23):57-59 p.
- Giraldo, LA. 1996. El potencial de los sistemas silvopastoriles para la ganadería sostenible. *Pasturas tropicales*. 141-172
- Gómez, ME. 1997. Evaluación de sistemas de producción de caña de azúcar y árboles forrajeros enfatizando en la fertilidad del suelo. Tesis M. Sc. CIPAV, CO, Universidad Javeriana. 180 p.
- Guevara, S; Meave, J; Moreno-Casasola, P; Laborde, J; Castillo, S. 1994. Vegetación y flora de potreros en la sierra de los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana* 28:1-27.
- Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry systems*. 44(1):37-68.
- Hernández, M. 1998. El uso de los árboles como mejoradores de los suelos y de la productividad de las gramíneas forrajeras. *Pastos y Forrajes* 21(4):283-297 p.
- Herrera Morera, AV. 1998. Evaluación del plan de mejoramiento ambiental de la parte alta de la cuenca del río Virilla. Microcuencas I y II. Tesis Lic. San José, CR, Universidad Nacional. 154 p.
- Holdridge, L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, CR. IICA. 276 p. (Serie de libros y materiales educativos no. 34)
- Holmann, F; Romero, F; Montenegro, J; Chana, C; Oviedo, E; Baños, A: 1992. Rentabilidad de sistemas silvopastoriles con pequeños productores de leche en Costa Rica: Primera aproximación. *Turrialba* 42(1):79-89.
- Ibrahim, M; Botero, J; Camero A. 1997. Pasturas en callejones. *Agroforestería en las Américas* 4(15): 23-25.
- Ibrahim, M. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grasses-legume mixtures for sustainable animal production in the atlantic zone of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University. 129 p.

- Jansen, H; Nieuwenhuysen, A; Ibrahim, M; Abarca. 1997. Evaluación económica de la incorporación de leguminosas en pasturas mejoradas, comparada con sistemas tradicionales de alimentación en la zona atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 4(15): 9-13.
- Jiménez, M. 1997. Evaluación bioeconómica de la suplementación con morera (*Morus sp*) en la crianza posdestete de terneras de lechería. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. (49 p)
- Kaimowitz, D. 1992. La experiencia de Centroamérica y la República Dominicana con proyectos de inversión que buscan sostenibilidad en las laderas. In Seminario Agricultura Sostenible en América Latina y el Caribe, Washington, 1992. 149 p.
- Kang, BT; Mulongoy, K. 1987. *Gliricidia sepium* as a source of green manure in alley cropping systems. In *Gliricidia sepium: Management and improvement. Proceedings of a workshop at CATIE, Turrialba, CR.* p. 44
- Libreros, HF. 1996. La sostenibilidad y los sistemas de producción agropecuaria: La agroforestería como alternativa. In Seminario Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles: Casos exitosos y su potencial en Colombia (1995, Santa fe de Bogota, CO). Memoria. p. 41-49
- López, A; Schlönvoigt, A; Ibrahim, M; Kleinn, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6(23):51-53.
- Massee, TW. 1990. Simulated erosion and fertilizer effects on winter wheat cropping intermountain dryland area. *Soil Science society of America* 54:1720 p.
- Montenegro, J; Abarca, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nítrico en sistemas de producción bovina en Costa Rica. In *intensificación de la ganadería en Centroamérica*. Eds. C pomareda; H Steinfeld., San José, CR. Nuestra tierra. p. 151-176
- Murgueitio, E. 2000. Sistemas agroforestales para la producción ganadera en Colombia. *Pastos y Forrajes* 23(3):235-250
- Murgueitio, E. Calle, Z. 1999. Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. (En línea). Roma, FAO. Consultado el 15 de ene del 2001. Formato PDF. Disponible en <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Agrofor1.htm>
- Parton, WJ; Schimel, DS; Cole, CV; Ojima, DS. 1987. Analysis of factors controlling soil organic levels of grasslands in the great plains. *Soil Science Society of America Journal* 51:1173-1179.
- Pérez, A; Ramírez, E. 1979. Manual descriptivo del mapa de asociaciones de subgrupos de suelos de Costa Rica. San José, CR. Oficina de planificación sectorial agropecuaria. 236 p.

- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Turrialba, CR. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 275 p. (Modulo de enseñanza agroforestal no. 2).
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. In 1er. Foro internacional sobre "Pastoreo intensivo en zonas tropicales" (1996, Veracruz, MX). Morelia, MX. Banco de México. 39 p.
- Pezo, D; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para de leche y carne. In Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Ed. S Fernández – Baca. Santiago, CL. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. p. 47-98.
- Ramakrishna, B. 1997. Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: conceptos y experiencias. San José, CR. IICA. (Serie investigación y educación en desarrollo sostenible).
- Ramos, J. 1996. Indicadores de impacto ambiental: Plan de mejoramiento ambiental de la cuenca de l río Virilla, Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 180 p.
- Reiche, C. 1998. Indicadores para medir avances del desarrollo sostenible en cuencas hidrográficas. Rescatemos el Virilla 3(7):64-68.
- Rodríguez, L; Murgueitio, E. 1995. Genero Eritrina. In Árboles y arbustos forrajeros en la alimentación animal como fuente proteica. COL. CIPAV. 89 p.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 10(3):241-252 p.
- Serrao, EAS; Falesi, IC; Veiga, JB; Texeira Neta, JF. 1979. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon of Brazil. In Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Eds. PA Sánchez; LE Tergas. Cali, CO. CIAT.p. 195-225.
- Serrao, EAS; Toledo, JM. 1990. The search for sustainability in Amazonian pastures. Ed. AB Anderson. Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rain forest. New York. Columbia University. p 195 – 214.
- Silva, VP da; Mazuchowski, JZ. 1999. Sistemas Silvipastoris: Paradigma dos pecuaristas para agregacao de renda e qualidade. Curitiba, BR, EMATER. 46 p. (Série Informacao Técnica no. 50)
- Somarriba, E. 1997. Pastoreo bajo plantaciones forestales. *Agroforestería en las Américas* 4(15):26-28 p.

- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR. CATIE. 71 p. (Serie Técnica no. 313)
- Toledo, JM; Morales, VA. 1979. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonía peruana. *In* Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Eds. PA Sánchez; LE Tergas. Cali, CO. CIAT. p. 191-210.
- Velasco, A; Ibrahim, M; Kass, D; Jiménez, F; Rivas, G. 1999. Concentraciones de fósforo bajo un sistema silvopastoril de *Acacia mangium* con *Brachiaria humidicola*. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 45-47.
- Velásquez, S; Porras, M. 1998. Clasificación digital de imagen de satélite para elaboración del mapa de cobertura de la tierra de la parte alta de la cuenca del río Virilla. *Rescatemos el Virilla* 3(7):69-77.
- Veldkamp, E. 1993. Soil organic carbon dynamic in pastures established after deforestation in the humid tropic of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University. 129 p.
- Young, A. 1989. Ten hypothesis for soil agroforestry research. *Agroforestry today* 1(1):13-18.

V. ARTICULO 1

CARACTERIZACION DE LAS FINCAS LECHERAS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA.

1. Introducción

La ganadería es una actividad muy importante en el manejo de cuencas, dado a que ésta, en las últimas décadas se ha dirigido a lugares marginales, donde las condiciones de ladera favorecen la degradación de los recursos naturales, principalmente suelo, agua y biodiversidad. Ello ha contribuido a que hoy día, en América Central, alrededor de un 50% de las tierras bajo pasturas, se encuentren en un estado avanzado de degradación (Szott et al. 2000). Al conjugar niveles significativos de erosión en los suelos con una gran superficie empastada se pueden dar casos donde este componente sea la principal fuente de sedimento en una cuenca , (Kaimowitz 1992). Así como también facilitar la contaminación por desechos orgánicos a las corrientes de agua, procedente de la ganadería.

El proyecto Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA), inició en la década de los años noventa a impulsar proyectos a nivel finca, sobre reforestación con especies nativas de la zona, principalmente jaúl (*Alnus acuminata*); establecimiento de bancos forrajeros con morera (*Morus alba*), conservación de bosques y programas sobre manejo de desechos orgánicos. Pretendiendo con ello mitigar los efectos negativos hacia la cuenca. La relevancia de la cuenca del río Virilla, radica en que, además de poseer grandes explotaciones de lechería especializada comprende una fuente importante de agua y tierra para fines múltiples. En ella se produce el agua para el consumo de alrededor del 54% de la población de la provincia de San José y el 10% de la energía eléctrica que se consume en el país, (Herrera, 1998).

La introducción de especies leñosas a los sistemas de producción ganadera, surge como una estrategia que puede contribuir a contrarrestar los impactos ambientales negativos de los sistemas tradicionales, (Pezo e Ibrahim 1999). Además constituye un mecanismo para

diversificar las empresas pecuarias y con ello generar nuevos ingresos, transformándolas en más atractivas, (Holmann et al. 1992, Holmann y Estrada 1997, Pezo e Ibrahim, 1999, Botero et al. 1999). En Costa Rica, más del 90% de las fincas ganaderas tienen árboles dispersos en los potreros para proveer sombra a los animales y generar otros beneficios, como la venta de madera y el mejoramiento del paisaje; en el mismo sentido, más del 75% de las fincas ganaderas tienen cercas vivas para separar los pastizales (Guevara et al. 1994, Harvey y Haber 1999).

Sin embargo no existen estudios sobre caracterización de sistemas de producción bovina a nivel del entorno de cuenca, que permitan conocer la estructura en términos de componentes y sus interacciones dentro de los sistemas de producción. Ello con el afán de propiciar las pautas para la inclusión de alternativas, como los sistemas silvopastoriles, los cuales son capaces de amortiguar la presión sobre los recursos naturales a nivel de cuencas hidrográficas, la cual, Aguirre (2000), desde el punto de vista económico y físico la cataloga como la única alternativa existente para manejar los recursos naturales con fines de ofrecer servicios. El presente estudio consistió en la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla. Así como también se realizó un estudio detallado acerca de la densidad y diversidad de los árboles y arbustos en el área utilizada para ganadería, con énfasis en cercas vivas y árboles dispersos en potreros.

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización y descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo entre los meses de Abril y Agosto del año 2001. El área de estudio comprendió la cuenca alta del río Virilla, localizada entre las coordenadas geográficas 9°57'30" a 10°05'00" latitud norte y 83°54'00" a 84°05'00" de longitud oeste. Situada hacia el extremo noreste de la cuenca del río grande de Tárcoles, en la depresión intermontana central de Costa Rica, (Anexo 1). Se constituye desde el nacimiento del río Virilla hasta su confluencia con el río Tibás, con un área equivalente a 141.8 km², (Castro y Porras 1995).

Esta área se sitúa hacia el sector noreste de la ciudad de San José y limita al norte con la reserva forestal de la Cordillera Volcánica Central y el parque nacional Braulio Carrillo, en la línea divisoria de aguas (Atlántico – Pacífico) de la Cordillera Volcánica Central, al oeste limita con el cantón de Santo Domingo de Heredia, en forma casi paralela con el río Astillero. Al este limita con el parque nacional Braulio Carrillo y al sur, con los distritos de San Juan de Tibás, San Vicente de Moravia e Ipis de Goicoechea, todos pertenecientes a la provincia de San José.

Los suelos son de origen volcánico, con predominio de la textura franco arenosa. Presentan en el estrato de 0-40 cm de profundidad las características químicas siguientes: 5.95 pH, 0.29 % de N, 6.53 mg kg⁻¹ de P, 0.21 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de K, 2.07 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de Ca, 0.82 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de Mg y 5.46% de materia orgánica.

2.2. Selección de las fincas

Para la caracterización de las fincas lecheras, fueron seleccionadas de forma aleatoria 35 fincas utilizando la base de datos del Centro Agrícola Cantonal del cantón de Coronado, San José, Costa Rica. Este grupo de fincas se ubican en una zona que registra una altitud de 1300 a 2420 msnm y una precipitación pluvial anual entre 2000 a 3000 mm (Figura 1). En estas fincas se aplicó una encuesta (Anexo 2) para recopilar información sobre: nivel de vida del productor (actividades económicas más relevantes, dependencia económica de la finca); usos de la tierra en los últimos cinco años; manejo actual de las pasturas (control de malezas, fertilización, carga animal, productividad animal); alimentación animal; manejo de los desechos orgánicos; y manejo, usos, restricciones y distribución espacial de los árboles.

Con respecto a la caracterización detallada de los árboles y arbustos dentro de las pasturas se eligieron de manera aleatorizada 12 fincas del primer grupo (n=35). En éstas, el área dedicada a pasturas fue dividida en parcelas (cuadrantes) de 1 ha, luego enumeradas consecutivamente y de ellas fueron seleccionadas totalmente al azar 3 por finca. En cada parcela se llevó a cabo un estudio detallado acerca de la abundancia y diversidad de los árboles y arbustos, con énfasis en cercas vivas y árboles dispersos en potreros. La abundancia fue manejada en términos de densidad por superficie (número de árboles ha⁻¹) para árboles dispersos en potreros y densidad

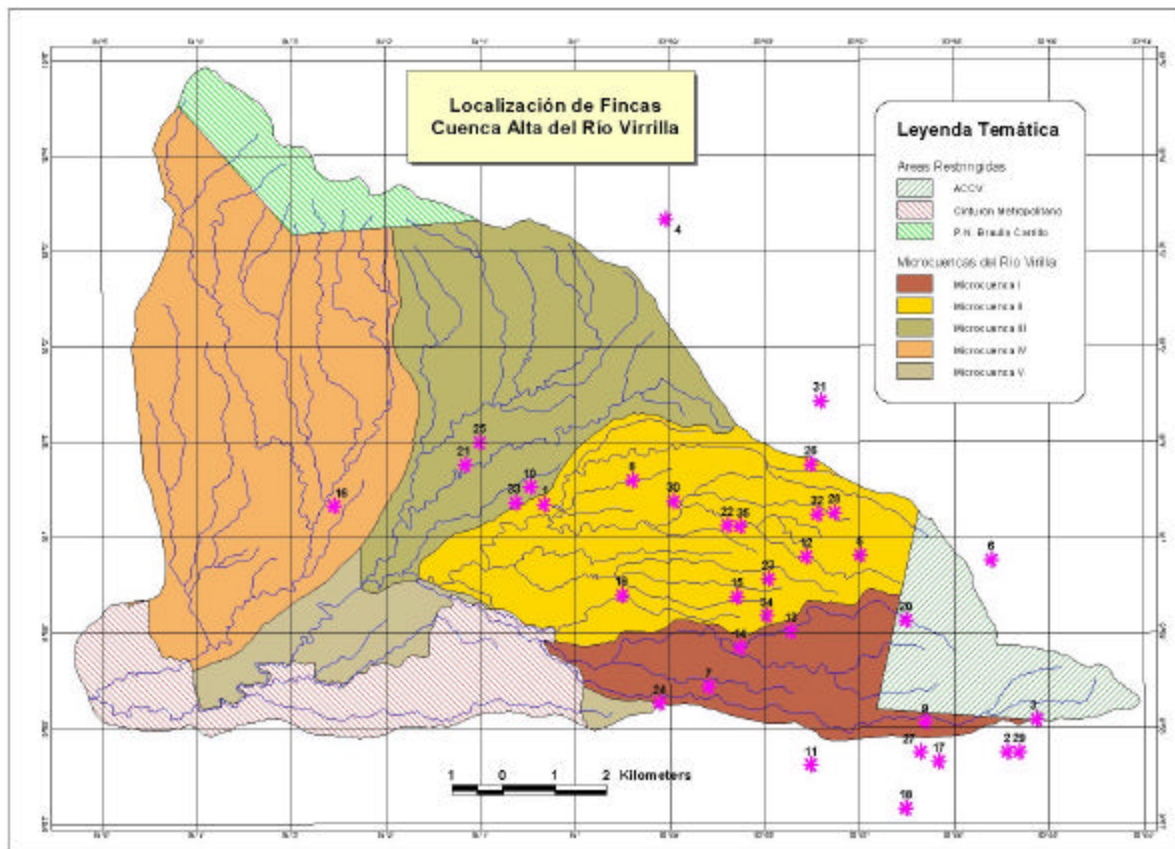


Figura 1. Localización de las fincas seleccionadas para la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

El nombre de las fincas que presenta la Figura 1 es el siguiente:

- | | | |
|-------------------|------------------------|--------------------|
| 1. La Esperanza | 13. Samaná | 25. Doble R |
| 2. Guayabillos | 14. Frutas de Coronado | 26. La Milena |
| 3. San Miguel | 15. DILABI | 27. Sta. Marta |
| 4. Las Palmas | 16. Hnos. Vindas | 28. Sierra Prieto |
| 5. Las Cumbres | 17. Hnos. Aguilar | 29. Rancho Redondo |
| 6. El Iral | 18. FIASA | 30. La Nevada |
| 7. Sta. Teresita | 19. Los Shoreques | 31. La Ondulada |
| 8. GEA | 20. La Holanda | 32. Serra Nevada |
| 9. El Triunfo | 21. O. Villalobos | 33. La Soga |
| 10. Sáenz Jiménez | 22. Real Minero | 34. Dorval S.A |
| 11. Manuel Macaya | 23. Monte Lindo | 35. La Floresta |
| 12. La Pradera | 24. El Amanecer | |

lineal (km ha^{-1}) en el caso de cercas vivas. Sin embargo dado a la diversidad existente de especies, se definió una clasificación de acuerdo a la abundancia y el propósito de las especies: a) *Erythrina* spp. b) *Alnus acuminata* c) Otras especies maderables d) Otras especies no maderables (Anexo 3).

2.3. Análisis de la información

Las variables consideradas en la caracterización de fincas lecheras (Cuadro 2), al igual que las definidas para la caracterización detallada de árboles y arbustos dentro de las pasturas (densidad por superficie y densidad lineal), fueron sometidas a un análisis univariado (media, desviación estándar). Así mismo, fue realizado un análisis de regresión lineal múltiple a los grupos de variables siguientes:

- ?? Área de bosque vs tamaño de finca, área de pasturas y carga animal de la finca.
- ?? Área de pastura vs tamaño de finca y carga animal de la finca.
- ?? Productividad de la finca ($\text{kg leche ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) vs tamaño de finca, área de pastura y carga animal de la finca.

Para agrupar las fincas con características similares se realizó un análisis de conglomerados a partir de 14 variables, obtenidas de la caracterización de las fincas (Cuadro 3). Dicho análisis se realizó a través del método de varianza mínima de Ward's. El número adecuado de grupos se determinó considerando básicamente, los valores que presenta la prueba de pseudo \hat{t}^2 . También se llevó a cabo un análisis discriminante por medio del método de pasos (STEPDISC), para identificar las variables causantes de la conformación de los grupos. A través de la prueba de Lambda Wilks' se detectó la similitud o diferencia entre grupos (SAS 1988).

Con la idea de definir la importancia de las variables causantes de la separación de los grupos, se realizaron pruebas de F, en donde los tratamientos fueron los conglomerados o grupos y las fincas las unidades experimentales. Utilizándose como comparador de medias de las variables, la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$).

Cuadro 2. Lista de variables cuantitativas y cualitativas consideradas en la caracterización de las fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. 2001.

VARIABLES	UNIDAD
Cuantitativas	
1. Mano de obra	# de jornales ha ⁻¹ mes ⁻¹
2. Salario mensual por jornal	Colones ticos (338 colones=1\$)
3. Tamaño de finca	ha
4. Área de pastura	ha
5. Área de bosque	ha
6. Área de plantaciones forestales	ha
7. Área de cultivos agrícolas	ha
8. Tamaño del hato	#
9. Vacas en producción	#
10. Producción de leche en finca por día	kg
11. Productividad de leche	kg ha ⁻¹ año ⁻¹
12. Carga animal	UA ha ⁻¹
13. Suplementación con concentrados	kg día ⁻¹
14. Fertilización química en pasturas	kg ha ⁻¹ año ⁻¹
15. Fertilización orgánica	kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Cualitativas	
16. Destino de leche	
17. Especies de pastos	
18. Destino de los desechos orgánicos de la finca	
19. Distribución espacial de los árboles en las pasturas	
20. Beneficios de los árboles a nivel de finca	
21. Ventajas y limitantes de los árboles en pasturas	

Cuadro 3. Listado de variables incluidas en el análisis de conglomerados de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

VARIABLES	UNIDAD
Mano de obra	# jornales ha ⁻¹ mes ⁻¹
Salario mensual por jornal	Colones ticos (338 colones=1\$)
Tamaño de finca	ha
Área de pastura	ha
Área de bosque	ha
Área de plantaciones forestales	ha
Área de cultivos agrícolas	ha
Tamaño del hato	#
Vacas en producción	#
Producción de leche en finca por día	kg
Productividad de leche	kg ha ⁻¹ año ⁻¹
Carga animal	UA ha ⁻¹
Suplementación con concentrados	kg día ⁻¹
Fertilización química en pasturas	kg ha ⁻¹ año ⁻¹

3. Resultados

3.1. Caracterización general de las fincas

3.1.1. Usos de la tierra

Las fincas encuestadas presentaron un tamaño promedio de 96 ha \pm 161.61. Dentro de éstas el área de pastura constituyó el uso predominante con un 85% (35-100) del área. Los otros usos fueron: bosque 11% (0-64), plantaciones forestales 3% (0-21) y área agrícola 1% (0-14) (Figura 2). El área destinada para bosques (Y, ha) mostró una relación significativa ($p < 0.01$) con el área de pastura (x_1 , ha) y el tamaño de finca (x_2 , ha), lo cual fue explicado por medio del modelo de regresión lineal múltiple $Y = 0.39 - 1.08x_1 + 1.01x_2$; $R^2 = 0.99$.

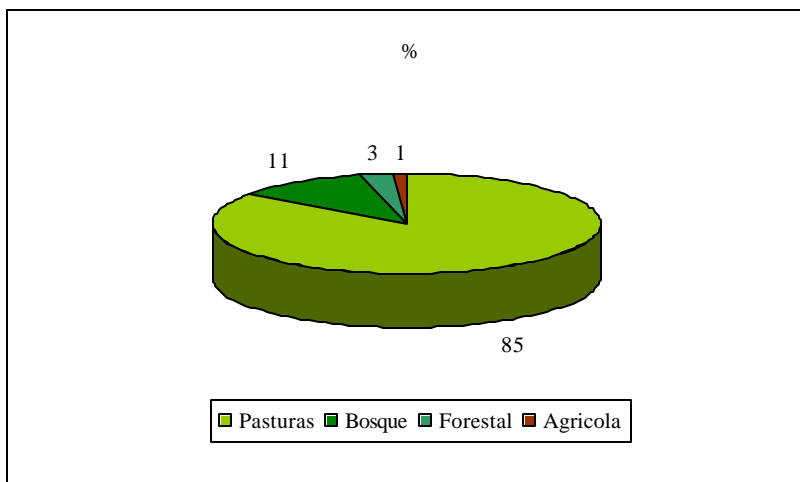


Figura 2. Distribución promedio de los usos de la tierra en fincas lecheras, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

3.1.2. Pasturas

El análisis de regresión lineal detectó una relación significativa ($p < 0.01$) entre el área de pastura (Y , ha) y el tamaño de finca (x , ha) explicado en el modelo $Y = 17.93 + 0.43x$; $R^2 = 0.85$ (Figura 3). En todas las fincas consideradas en el estudio prevaleció el pasto kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), y en menor grado otras especies como: *Cynodon* sp., *Pennisetum purpureum* y *Lolium* sp. Las pasturas de piso son usadas bajo un sistema de pastoreo rotacional por medio de cercas eléctricas; con períodos de ocupación y descanso de 0.5 y 30 días respectivamente. Con respecto al pasto de corte *P. purpureum*, éste es utilizado con intervalos de corte cada 10 semanas, generalmente por las fincas que manejan el ganado en confinamiento parcial o total.

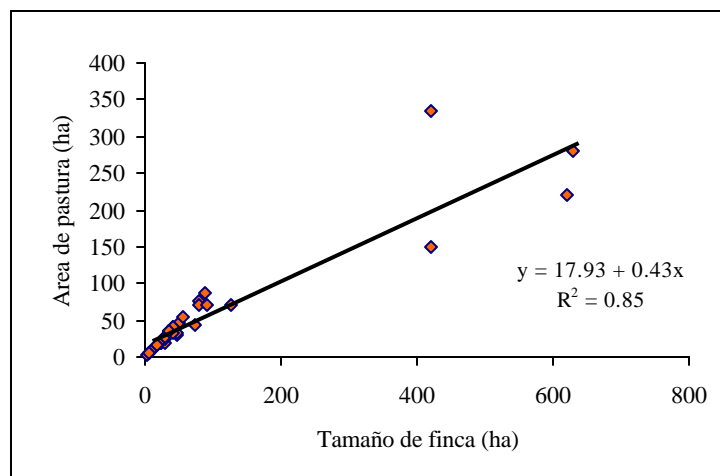


Figura 3. Relación entre el área de pastura y el tamaño de finca en lecherías de la cuenca alta del río Virilla, San José Costa Rica, 2001.

En el control de malezas, se utilizan, el método químico, manual y una combinación de ambos por el 46, 34 y 20% de las fincas, respectivamente. La frecuencia de esta práctica depende del método elegido; cuando es manual es acorde a la presencia de plantas indeseables; químico, en promedio los finqueros indicaron una aplicación por año. La fertilización de los pastos es practicada por el 97% de las fincas, de las cuales un 91, 3 y 3% corresponden al uso de fórmulas químicas, orgánicas (lombricompost), derivado de la boñiga producido en la finca y combinada (química y orgánica) respectivamente. Las fincas que utilizan fórmulas químicas manejan una aplicación promedio de 200 (± 172) kg N ha⁻¹ ano⁻¹.

Los pastos comprendieron la dieta basal en todas las fincas encuestadas y el uso de alimentos balanceados comerciales (concentrados), sales minerales y sal común conformaron el paquete complementario para llenar los requerimientos nutricionales de mantenimiento y producción de los animales. La suplementación con alimento balanceado a nivel de la zona equivale a un promedio de 6.70 (± 2.24) kg vaca⁻¹ día⁻¹.

3.1.3. Componente animal

En las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, predominaron las razas bovinas tipo leche Holstein y Jersey. En promedio las fincas se conformaron de un hato de 114 (± 84)

animales, de los cuales 56 (± 43) corresponden a vacas en producción. La carga animal (UA ha^{-1}) promedio registrada en la zona de estudio fue de 2.63 (± 1.55).

3.1.4. Producción de leche

El destino de la leche es procesamiento en la misma finca y entrega a plantas procesadoras, lo cual correspondió al 11 y 89% respectivamente. De este último grupo un 84% entregan la leche fluida a la Cooperativa Dos Pinos.

La productividad de leche en las fincas presentó un promedio de 9013 (± 5354) $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$

El comportamiento de la productividad (Y) en relación a la carga animal (x) fue mejor explicado ($p < 0.01$) por el modelo de regresión cuadrático $Y = -1225.47 + 4546.04x - 185.53x^2$; $R^2 = 0.80$ (Figura 4). Este cuadro sucedió dentro de los rangos de 0.68 y 8.48 UA ha^{-1} . En este sentido es importante señalar que las fincas que utilizan cargas superiores a 4.5 UA ha^{-1} poseen extensiones de terreno entre 7 y 10 ha, eso ha ocasionado que el ganado sea manejado en confinamiento parcial o total.

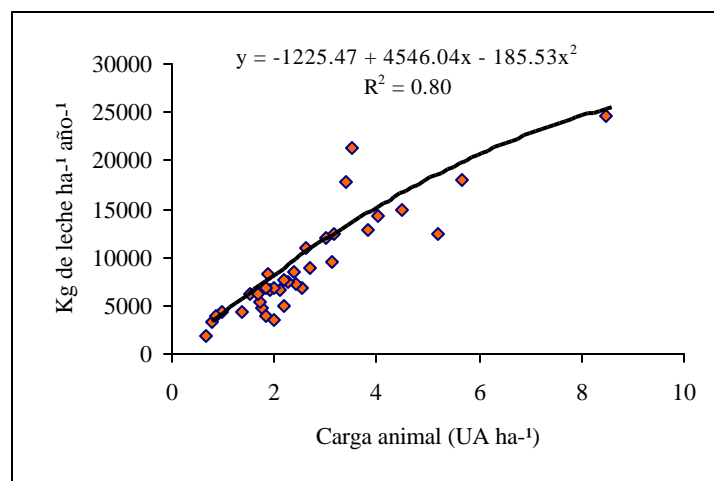


Figura 4. Relación entre la productividad de leche y la carga animal en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José Costa Rica, 2001.

3.1.5. Manejo de desechos orgánicos

Un alto porcentaje de los ganaderos (77%) utiliza los desechos orgánicos (estiércol y orina) producidos en los corrales después de cada ordeño como fertilizante. Esta práctica consiste en enviar el agua y desechos, producto del lavado, a los potreros por medio de canales o acequias. Sin embargo es importante anotar que un 14% de los ganaderos destinan el lavado de los desechos orgánicos directamente a quebradas. En menor grado se realizan prácticas como lombricompost y uso de lagunas de captación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Destino de los desechos orgánicos procedentes de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

Destino desechos orgánicos	No. de fincas	%
Pastizales	27	77
Quebradas	5	14
Pastizales y lombricompost	2	6
Lagunas de captación	1	3
	(n=35)	

3.1.6. El componente leñoso y el conocimiento local de los ganaderos

Un 80% de las fincas encuestadas manejan sistemas silvopastoriles. Las opciones silvopastoriles encontradas consisten en árboles dispersos en potreros, cercas vivas y en menor frecuencia bancos forrajeros, que corresponden al 80, 80 y 9% de las fincas respectivamente.

Los citados ganaderos señalaron a las especies *A. acuminata*, *Erythrina* spp. y *Morus alba*, como las especies predominantes en los sistemas silvopastoriles, árboles dispersos en potreros, cercas vivas y bancos forrajeros respectivamente. Los árboles dentro de las fincas no reciben ningún manejo silvicultural, a excepción de la *Erythrina* spp. en cercas vivas que recibe poda de las ramas bajas una vez por año y cuando se requiere material para repoblamiento de cercas.

Con respecto a los beneficios de los árboles dentro de las fincas, los más mencionados son: la sombra para el ganado, protección y conservación de fuentes de agua y del recurso suelo a

nivel del 40, 34 y 31% de los finqueros, respectivamente (Cuadro 5). El 43% indicaron que los árboles también representan una limitante en la producción de pastos, debido a exceso de sombra, goteo fuerte de las copas durante las lluvias y por formarse áreas de sacrificio (lugares muy pisoteados por el ganado) bajo los árboles. No obstante, un 20% argumentó que el comportamiento productivo de los pastos, no es afectado cuando existen en los potreros bajas densidades de árboles (< 30 árboles ha^{-1}), enfatizando esas bondades a la especie *A. acuminata*.

Cuadro 5. Percepción de los ganaderos acerca de los beneficios que brindan los árboles en la finca, en la cuenca alta del Virilla, San José, Costa Rica, 2001. (en orden decreciente; n=35)

BENEFICIOS	#Ganaderos	%
Sombra para el ganado	14	40
Protección y conservación de fuentes de agua	12	34
Protección y conservación de suelos	11	31
Madera	7	20
Biodiversidad	6	17
Reciclaje de nutrientes	4	11
Delimitación de terrenos	4	11
Cortinas rompevientos	3	9
Estética del paisaje (belleza escénica)	3	9
Sombra para pastos en el verano	3	9
Postes	3	9
Pago de servicios ambientales	2	6
Protección y conservación ambiental	2	6
Mejora el suelo	1	3
Producción de oxígeno	1	3
Cercas vivas	1	3
Protección de quebradas	1	3
Leña	1	3
Ecoturismo	1	3

3.1.7. Similitudes y diferencias entre fincas

La prueba de pseudo χ^2 sugirió conformar cuatro grupos o conglomerados. El primero agrupó 9 de las fincas (26%), el segundo 15 (43%), el tercero 8 (23%) y el cuarto 3 (8%). La prueba multivariada de Lambda Wilks' detectó diferencias estadísticamente significativas entre

conglomerados ($p < 0.01$). Las principales variables que agruparon las fincas lecheras fueron: tamaño de la finca, área de bosque, área de plantaciones forestales, área de pasturas y la productividad (Cuadro 6) (Anexo 4). El análisis de varianza entre los grupos de fincas mostró diferencias estadísticamente significativas a nivel de las variables: tamaño de la finca, área de bosque, área de plantaciones forestales y área de pasturas, con una $p < 0.01$ para la primera y $p < 0.05$ para el resto de variables (Anexo 5).

Cuadro 6. Comportamiento de las principales variables que participaron en la formación de los conglomerados de fincas lecheras en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

VARIABLES	UNIDAD	CONGLOMERADOS			
		1 (n=9) [*]	2 (n=15)	3 (n=8)	4 (n=3)
Tamaño de finca	ha	249.40 ^a	38.03 ^b	53.81 ^b	37.80 ^b
Área de pastura	ha	122.73 ^a	33.69 ^b	42.71 ^b	37.80 ^b
Área de bosque	ha	119.17 ^a	2.98 ^b	8.50 ^b	0.00 ^b
Área de plantaciones forestales	ha	6.56 ^a	1.00 ^{a b}	1.19 ^{a b}	0.00 ^b
Productividad de leche	kg ha ⁻¹ año ⁻¹	6832 ^a	11746 ^a	7266 ^a	6549 ^a

Valores con igual letra horizontalmente no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($p > 0.05$)

^{*} El valor entre paréntesis equivale al número de fincas por conglomerado

El conglomerado (1) presentó estadísticamente los mayores valores para las variables tamaño de finca, área de pastura y área de bosque. Sin embargo a nivel de los conglomerados 2, 3 y 4 las variables explicatorias de los grupos de fincas mostraron un comportamiento estadísticamente similar.

El conglomerado (2) comprendió las fincas con sistemas intensivos en el uso de pasturas, ello se refleja en la alta productividad de leche, lo cual implica el uso de una carga animal alta y una mayor aplicación de fertilizantes.

El conglomerado (3) incluyó las fincas que utilizan la menor cantidad de fertilizante en pasturas en la zona, además en tamaño son las de segundo en el orden, superadas por las del conglomerado 1.

El conglomerado (4) se conformó por las fincas de menor tamaño, donde el uso del suelo es totalmente la actividad ganadera.

3.2. Caracterización arbórea y arbustiva en pasturas

El inventario de individuos fue de 1135, distribuidos en 34 especies (Anexo 3). *Erythrina* spp. y *Alnus acuminata* son las especies más comunes con valores de 60 y 18% respectivamente.

Dentro de los árboles y arbustos dispersos en potreros la especie más abundante fue el *A. acuminata* (Cuadro 7). Esta especie al igual que la *Erythrina* spp. prevalecieron en un 92% de las fincas (n=12) bajo la distribución espacial en referencia.

Cuadro 7. Densidad de árboles y arbustos dispersos en pasturas de fincas lecheras, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

Categoría	Densidad (individuos ha ⁻¹)
<i>A. acuminata</i>	4.17
<i>Erythrina</i> spp.	2.14
Otras especies maderables	1.58
Otras especies no maderables	2.22
Total	10.11

En lo referente a los árboles en cercas vivas, *Erythrina* spp., *Ficus sapium* y *A. acuminata* fueron las especies prevalecientes en esta condición, en el 75, 42 y 33 % de las fincas respectivamente. La densidad lineal promedio existente en las fincas fue de 0.13 (± 0.05) km ha⁻¹.

4. Discusión

4.1. Usos de la tierra

Las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla destinan de su área total el 85% para pasturas. Este dato coincide con lo reportado en esta misma zona por Canet (1985); lo cual indica que el área de pasturas en los últimos 16 años ha sido estable. Sin embargo en la región

del Poás, Costa Rica, bajo condiciones edáficas y climáticas muy similares al área de estudio, las pasturas ocupan una proporción del 58% del tamaño de las fincas, (Grinten et al.1992). Esto se puede atribuir a que estas fincas presentan un tamaño superior en un 42% a las fincas del presente estudio. El área de bosque secundario es otro componente considerado dentro de las fincas, especialmente para la protección de nacientes de agua y en aquellas áreas donde la topografía es muy escarpada, tomando en cuenta que en esta zona es fácil encontrar pendientes superiores al 70%.

El tamaño de las fincas ha influido de manera lineal y positiva sobre el área que se destina para pasturas. En el caso del área ocupada por bosques, están influyendo grandemente, el tamaño total y el área de pasturas de la finca. Situación que evidencia en las fincas pequeñas, donde toda su área la dedican a la ganadería. Esta tendencia es similar a la encontrada por Alonzo et al. (2001), en ganaderías menos intensivas y bajo condiciones de trópico húmedo. Ello obedece a que las fincas especializadas en leche buscan la máxima eficiencia en el uso del suelo por medio de la ganadería como principal actividad generadora de beneficios tangibles, ya que el incrementar los árboles significa reducir la carga animal y en consecuencia la productividad de la empresa.

Es importante hacer notar que en esta zona la ganadería (fincas lecheras), ha sido el uso principal de la tierra, según lo revela la imagen de satélite de 1996 (Velásquez y Porras 1998). Sin embargo en los últimos años dado a la plusvalía que ha recibido la tierra de este sector, muchas fincas, especialmente las pequeñas (< de 50 ha), están siendo transformadas a proyectos de urbanización (tipo quintas o granjas), por lo que en un futuro esta situación podría ser más perjudicial para la sostenibilidad de los recursos de la cuenca. Así mismo el proyecto Plama Virilla ha impulsado un proyecto de incentivos forestales en las fincas, pero a éste generalmente aplican las fincas grandes (> de 50 ha) y las pequeñas que lo hacen eliminan la actividad ganadera y con ello pretenden darle valor agregado a la finca, ya que en los últimos años en la zona, ha florecido como una actividad económica importante la compra venta de terrenos. Este panorama refleja que, si los sistemas silvopastoriles fueran considerados en el pago de los servicios ambientales, conformarían un paquete más atractivo para la incorporación de árboles a escala de grandes y pequeños ganaderos.

4.2. Productividad de la finca

Bajo las condiciones ecológicas de la zona de estudio predomina el pasto *P. clandestinum*, el cual posee una capacidad de producción de hasta 23 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (Skerman y Riveros 1998, Davison et al. 1997). Ésta gramínea es ideal para sistemas de producción intensiva, presenta un elevado valor nutricional, responde de manera rápida al nitrógeno y combate la erosión (Skerman y Riveros 1998). Dichas bondades en combinación con el uso de suplementos alimenticios (concentrados), mejoramiento continuo de la genética de las razas bovinas lecheras predominantes y una carga animal (2.63 UA ha⁻¹), han favorecido la obtención a nivel de finca de una aceptable productividad de leche de 9024 kg ha⁻¹ año⁻¹, superior en un 47% a lo reportado para la región del Poás por Grinten et al. (1992).

4.3. Manejo de los desechos orgánicos

En este aspecto predomina la práctica de distribuir directamente el estiércol y la orina a los pastizales y quebradas, lo cual equivale alrededor del 91% de las fincas encuestadas. Ello repercutirá en la calidad de las corrientes de agua, considerando la ventaja que otorga la topografía escarpada típica de la zona. Un acercamiento a esta situación es el trabajo de Tiedemann et al. (1987), quienes señalan impactos negativos en el agua superficial solo con el hecho de coexistir con la actividad ganadera. Estos autores indican que los sistemas de pastoreo intensivos provocan los mayores índices de concentración de coliformes fecales equivalente a 246 UFC por 100 ml de agua, en comparación a otras estrategias de pastoreo, tales como: no pastoreo, pastoreo extensivo y pastoreo más uniforme usando cercas, los cuales presentaron concentraciones de 7, 34 y 15 respectivamente.

Sin embargo es importante señalar que el manejo de los desechos orgánicos depositados en los potreros por los animales en pastoreo, se vuelve imposible de considerarlos en algún tratamiento, como si lo permite el depositado en las salas de ordeño. La contaminación de las corrientes de agua se puede reducir si, al menos se evitara dirigir directamente los desechos orgánicos de las salas de ordeño de las lecherías a las quebradas o ríos. Práctica que si es realizada por un bajo porcentaje de las fincas encuestadas (6%), las cuales reciclan el estiércol

por medio del lombricompostaje, usando para dicho proceso la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). Ello les permite obtener un producto (lombricompost o abono orgánico) capaz de generar un nuevo ingreso a la finca o en su defecto reducir el uso de fertilizantes químicos.

4.4. El componente leñoso y el conocimiento local de los ganaderos

Las distribuciones espaciales de los árboles y arbustos más utilizadas por los ganaderos de la zona de estudio, son los árboles dispersos en potreros y cercas vivas. Lo cual es similar a otros estudios en fincas ganaderas (Souza et al. 2000, Harvey y Haber 1999). En relación a las especies utilizadas en cada estrategia, es común en las fincas ganaderas la presencia de especies maderables dispersas o aisladas en potreros, principalmente con diversos fines, tales como: fuente de madera, leña y sombra para el ganado. Situación que coincide con lo señalado por otros autores como Canet (1985), Pezo e Ibrahim (1999), Souza et al. (2000), Camargo et al. (2000). En el caso de cercas vivas predominan especies no maderables como la *Erythrina* spp., especie muy difundida a nivel de finca en Costa Rica.

Los ganaderos tienen conocimiento de los beneficios de los árboles y arbustos, entre los cuales predomina el uso de sombra para el ganado, señalamiento que coincide con la visualización de los ganaderos de fincas lecheras de Monteverde, Costa Rica (Harvey y Haber 1999). Situación esperada, debido a que las razas bovinas lecheras son más sensibles al estrés calórico. También, es importante recalcar que las ventajas que implican los árboles dentro de las fincas ganaderas a nivel del concepto de los finqueros, han sido reportadas por estudios anteriores, bajo diferentes ambientes climáticos y sistemas de explotación de la ganadería, (Canet 1985, Guevara et al. 1994, Gómez 1997, Harvey y Haber 1999, Souza et al. 2000, Casasola 2000).

Esta base de conocimiento juega un papel importante en el momento de impulsar proyectos coherentes, relacionados al aumento de la cobertura arbórea en las fincas. La estrategia para lograr tal cometido y con ello reducir la presión sobre los bosques, consiste en la opción silvopastoril, árboles dispersos en potreros (en bajas densidades), especialmente con la especie *A. acuminata*. Ésta algunos ganaderos la consideran benevolente y de múltiples servicios (sombra para el ganado, fuente de madera, leña, postes, fijación de nitrógeno); además la

sombra de las copas no afecta el crecimiento de los pastos, que es una razón de peso en la mayoría de ganaderos para excluir árboles en potreros. Otra opción silvopastoril son las cercas vivas que han sido manejadas desde hace mucho tiempo por los ganaderos para delimitación de terrenos, principalmente. Sin embargo desde la incorporación de las cercas eléctricas en los sistemas de uso intensivo de pasturas la presencia de cercas vivas ha mermado, y nuevamente se está reactivando su uso en combinación con las cercas eléctricas, dado al costo que implica el uso y reposición de otro tipo de material muerto.

4.5. Grupos de fincas

El conglomerado (1), este grupo de fincas son las que siempre acceden a mantener una cobertura forestal mayor, sea ésta de bosques o plantaciones forestales. Por lo tanto en ellas fácilmente se encuentra establecida la tecnología de los sistemas silvopastoriles, principalmente árboles dispersos en potreros; así mismo, estas fincas son las que más rápido se integran a los proyectos de incentivos forestales. Otro detalle importante consiste, en que generalmente las fincas grandes tienden a ser menos intensivas que las fincas pequeñas.

En el conglomerado (2), refleja la alta dependencia de insumos externos para lograr mantener una alta productividad; también ello está relacionado a una menor presencia de árboles dentro de las fincas, para no comprometer el grado de intensidad de uso de la tierra. Otro aspecto a tener en cuenta, es la fuerte contaminación de nitratos a las corrientes de agua, como resultado de altas aplicaciones de fertilizantes, que en su mayoría son nitrogenados, sumado al efecto de los desechos orgánicos. En ese mismo sentido el recurso suelo se vuelve más susceptible a ser compactado y en consecuencia a erosionarse. Este panorama muestra que de continuarse en esa directriz, la cuenca del río Virilla sufrirá a mediano plazo daños sociales, económicos y ecológicos irreversibles, por la carencia de un plan de uso y manejo sostenible de los recursos naturales en las fincas lecheras de la zona, desde hace varias décadas.

En el conglomerado (3), el componente arbóreo juega un rol importante, ya que persigue aprovechar las bondades de los árboles fijadores de nitrógeno, como el jaúl y no depender de altas dosis de fertilizantes químicos para las pasturas. Ello indica que fincas con áreas

superiores a las 50 ha con facilidad acceden a los programas de incentivos forestales (plantaciones en bloque) existentes en la zona. Esto permite que las áreas de pastura sometidas a estos programas, además del valor agregado de la tierra, los suelos recobran cierto potencial en la parte física y química, lo cual incidirá en la productividad animal en el siguiente ciclo de uso. Tornándose en fincas lecheras que posiblemente sean más estables y sostenibles a nivel de beneficios sociales, económicos y ecológicos.

El conglomerado (4), la limitante de terreno veda la posibilidad de integrar los árboles ya sea a nivel de bosques o plantaciones compactas. Es un grupo con tendencia a aumentar el uso de insumos externos (concentrados y fertilizantes químicos) para sostener la productividad. La ausencia del componente árbol lo transforma en un sistema de producción capaz de promover efectos negativos a nivel de suelo, agua y biodiversidad. Este tipo de fincas, de implementarse el pago de servicios ambientales por alternativas como los sistemas silvopastoriles, posiblemente, sientan atracción en integrar árboles dentro de las pasturas.

4.6. Caracterización arbórea y arbustivas en pasturas

Las especies sobresalientes en el inventario realizado son la *Erythrina* spp. y el *A. acuminata*. La primera es una planta muy difundida a nivel de finca en Costa Rica por sus múltiples ventajas; adaptación, fijación de resistencia a la poda, fijación de nitrógeno, sombra para café, fácil multiplicación, forraje para alimentación animal. La segunda es una especie nativa de zonas de altura, de rápido crecimiento, la cual desde el siglo pasado constituye parte de las fincas ganaderas en asocio con *P. clandestinum* y *P. purpureum* (Russo 1990).

El *A. acuminata* es la especie con mayor presencia (41%) dentro de los árboles y arbustos dispersos en potreros en las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla. Es notable que la densidad de árboles en pasturas de 10.11 (± 3.2) es un valor muy bajo y típico de las lecherías de altura, lo cual contrasta con lo reportado por Souza et al. (2000), al indicar que en la zona de San Carlos, Costa Rica, las densidades de árboles para los sistemas especializados en leche y de doble propósito, corresponden a 22.11 y 20.47 respectivamente. La condición de la densidad baja de árboles puede estar relacionada a factores como: alta carga animal, uso de

herbicidas, abundancia de fincas pequeñas (66% son menores de 50 ha), altas aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, lo cual favorece a que las gramíneas existentes sean aún más agresivas e impidan la regeneración natural. Bajo este panorama, también es importante considerar el concepto de los ganaderos del impacto de la sombra sobre la productividad de pasto, situación validada por Bronstein (1984), al afirmar que las copas de los árboles reducen la transmisión solar hacia el estrato de las pasturas, lo cual es detrimental en la productividad de algunas especies de gramíneas.

Erythrina spp. es la especie representativa en cercas vivas, presente en el 75% de las fincas. La densidad lineal (km ha^{-1}) de 0.13 del presente estudio es un valor muy común en fincas lecheras de altura, superado estrechamente por los valores encontrados por Souza et al. (2000), equivalentes a 0.16, 0.19 y 0.19 km ha^{-1} para los sistemas mixto (agricultura y ganadería), lechería especializada y doble propósito, respectivamente. Ello obedece a que en las fincas lecheras, el uso de cercas vivas se ha circunscrito en los linderos de las fincas; y en las divisiones internas las cercas eléctricas se combinan con soportes muertos, en la mayoría de los casos.

Para aumentar la densidad de árboles dispersos en los potreros y cercas vivas, significa considerar las siguientes pautas: en el caso de los árboles dispersos en potreros, una manera consiste en favorecer la regeneración natural, lo cual es posible de lograrse utilizando en las áreas de pastura una carga animal baja ($<1 \text{ UA ha}^{-1}$) y de preferencia con animales jóvenes (terneras); otra vía es suspender el uso de los potreros más degradados por un período aproximado de 3 años, para aprovechar la regeneración natural del jaúl, si existen árboles semilleros aislados. Caso contrario y aún más atractivo para los ganaderos es someter el área al pago de incentivos forestales, por medio del Plama Virilla, institución que actualmente promueve la reforestación en fincas y brinda el manejo posterior durante 5 años, período de tiempo exigido para no utilizar el área para uso ganadero, y con ello garantizar el establecimiento de los árboles. Después de este período el ganadero tiene autoridad para decidir qué densidad de árboles manejar en conjunto con la ganadería, bajo un enfoque de la tecnología silvopastoril o destinarla como una plantación pura.

Con respecto a las cercas vivas, actualmente en algunas fincas se está retomando el uso de árboles o arbustos como soportes de la cerca eléctrica, este panorama al igual de que los árboles dispersos en potreros, si se establece un sistema de pago de servicios ambientales a las fincas ganaderas por la implementación de tecnologías silvopastoriles permitiría el aumento de la cobertura arbórea en las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla lo cual se concatenaría con una reducción en la presión sobre el cada vez escaso recurso bosque.

4.7. Aplicación del estudio

La cuenca del río Virilla presenta una importancia social, política y económica por las razones siguientes: la producción total de leche a nivel de la cuenca del río Virilla se encuentra dentro de las cinco más importantes en la producción nacional. Este producto y sus derivados reviste de importancia para Costa Rica, ya que actualmente es el único país Centroamericano que cubre la demanda nacional e igualmente el de mayor exportación a los otros países del área (Pérez 2000). Así mismo es la fuente de agua potable para el 54% de la población de la Gran Área Metropolitana de San José y genera el 10% de energía eléctrica de la producción nacional (Herrera 1998), lo cual denota que no se debe brindar atención aislada a los beneficios generados en la cuenca.

Los resultados del presente estudio ofrecen una panorámica del funcionamiento de las fincas lecheras en el entorno de cuencas hidrográficas, bajo los términos de uso del suelo, distribuciones espaciales de los árboles, especies arbórea y arbustivas más comunes a nivel de pasturas, densidad de árboles dispersos en potreros y cercas vivas. Así como también el manejo de los desechos orgánicos. Este enfoque permitirá a instituciones como el PLAMA VIRILLA que laboran en pro de la recuperación y conservación de los recursos naturales de la cuenca del río Virilla, orientar la planificación de actividades y propuestas de trabajo hacia una dirección de armonía de los recursos naturales en cada una de las actividades de importancia social, económica y ambiental para la cuenca.

5. Conclusiones

Las fincas especializadas en producción de leche en la cuenca alta del río Virilla, destinan el 85% del área en pasturas y un 14% es ocupado por el componente arbóreo y arbustivo. Así mismo, la mayoría de fincas con una extensión superior a las 50 ha han mostrado capacidad para integrar el componente arbóreo (bosques o plantaciones) en conjunto con la actividad ganadera y con ello aprovechar el pago de servicios ambientales.

La mayoría de ganaderos encuestados tienen conocimientos acerca de los beneficios que representan los árboles para la finca, la sociedad y el ambiente. Lo cual facilitaría la evaluación e implementación de proyectos silvopastoriles en fincas especializadas en producción de leche.

Un 80% de las fincas encuestadas presentaron árboles dispersos en potreros y cercas vivas como principales estrategias de integrar los árboles con la ganadería. Sin embargo la densidad de árboles encontrada bajo estas modalidades silvopastoriles de 10.11 árboles ha⁻¹ y 0.13 km ha⁻¹, respectivamente se considera muy baja.

Únicamente el 6% de las fincas de la zona de estudio reciclan el estiércol de los bovinos mediante el proceso del lombricompostaje, usando el bioabono final como fertilizante en la propia finca y la venta del excedente. Evitando así convertirse en fuentes puntuales de contaminación de corrientes de agua.

6. Recomendaciones

Evaluar las modalidades de sistemas silvopastoriles con *A. acuminata* (cercas vivas, árboles dispersos en potreros, pasturas en callejones), para identificar cuál es la más compatible con las condiciones biofísicas y económicas de las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla y con ello incitar a incrementar la cobertura vegetal en las áreas de pasturas.

El proyecto PLAMA VIRILLA de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, como ente participante en la recuperación y conservación de los recursos naturales de la cuenca alta del río Virilla y, considerando la importancia de la zona como fuente del recurso agua para consumo humano de la gran área metropolitana de San José, generación de energía eléctrica y producción de leche, deberían proponer y/o gestionar ante los entes decidores pago de servicios ambientales a las fincas lecheras con enfoque silvopastoril y manejo de desechos orgánicos. Ello podría incentivar el aumento de la cobertura arbórea en la cuenca y una reducción de la contaminación de corrientes de agua por fuentes puntuales procedentes de fincas lecheras.

7. Bibliografía

- Aguirre, JA. 2000. Cuencas hidrográficas, servicios ambientales e incentivos para el desarrollo ganadero sostenible del trópico americano. In intensificación de la ganadería en Centroamérica. Eds. C pomareda; H Steinfeld., San José, CR. Nuestra tierra. 77-112 p.
- Alonzo, I; Ibrahim, M; Gómez, M; Prins, K. 2001. Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. Agroforestería en las Américas 8(30):24-27.
- Botero, J; Ibrahim, M; Bouman, B; Andrade, H; Camargo, JC. 1999. Modelaje de opciones silvopastoriles sostenibles para el sistema ganadero de doble propósito en el trópico húmedo. Agroforestería en las Américas 6(23):60-62.
- Bronstein, GE. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 110 p.
- Camargo, JC; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 7(26):46-49.
- Canet, G. 1985. Características del sistema silvopastoril jaúl (*Alnus acuminata*) con lechería de altura en Costa Rica. In Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y técnicas de recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. (1985, Turrialba, CR). Actas. Ed. R Salazar. Turrialba, CR, Texto. 241-250 p.

- Casasola, F. Productividad de los sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotenté, Esteli, Nicaragua 2000. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 95 p.
- Castro, G; Porras, M. 1995. Taller manejo integrado de cuencas con énfasis en extensión: plan de mejoramiento ambiental de la parte alta de la cuenca del río Virilla (PLAMA VIRILLA). Turrialba, CR. Compañía nacional de fuerza y luz. 14 p.
- Davison, TM; Frampton, PJ; Orr, WN; Silver, BA; Martin, P; Mclachlan, B. 1997. An evaluation of kikuyu-clover pastures as a dairy production system. Pasture and diet. Tropical grasslands 31(1):1-14.
- Gómez, ME. 1997. Evaluación de sistemas de producción de caña de azúcar y árboles forrajeros enfatizando en la fertilidad del suelo. Tesis M. Sc. CIPAV, CO, Universidad Javeriana. 180 p.
- Grinten, P van der; Baayen, MT; Villalobos, L; Dwinger, RH; 't Mannetje, L. 1992. Utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) pastures and dairy production in a high altitude region of Costa Rica. Tropical Grasslands 26(4):255-263.
- Guevara, S; Meave, J; Moreno-Casasola, P; Laborde, J; Castillo, S. 1994. Vegetación y flora de potreros en la sierra de los Tuxtlas, México. Acta Botánica Mexicana 28:1-27.
- Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. Agroforestry systems. 44(1):37-68.
- Holmann, F; Romero, R; Montenegro, J; Chana, C; Oviedo, E; Baños, A. 1992. Rentabilidad de sistemas silvopastoriles con pequeños productores de leche en Costa Rica: Primera aproximación. Turrialba 42(1):79-89.
- Holmann, F; Estrada, R. 1997. Alternativas agropecuarias en la región pacífico central de Costa Rica: Un modelo de simulación aplicable a sistemas de doble propósito. In Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Eds. C Lascano; F Holmann. Cali, CO, CIAT. 285 p.
- Herrera Morera, AV. 1998. Evaluación del plan de mejoramiento ambiental de la parte alta de la cuenca del río Virilla. Microcuencas I y II. Tesis Lic. San José, CR, Universidad Nacional. 154 p.
- Kaimowitz, D. 1992. La experiencia de Centroamérica y la República Dominicana con proyectos de inversión que buscan sostenibilidad en las laderas. In Seminario Agricultura Sostenible en América Latina y el Caribe, Washington, 1992. 149 p.
- Pérez, E. 2000. La situación de la ganadería en Centroamérica. In Intensificación de la ganadería en Centroamérica. Eds. C Pomareda; H Steinfeld., San José, CR. Nuestra tierra. 39-53 p.

- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. 2 ed. Turrialba, CR, CATIE. 275 p. (Modulo de enseñanza agroforestal no.2).
- Russo, R. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 10(3):241-252.
- Skerman, PJ; Riveros, F. 1992. Gramíneas Tropicales. Roma, IT. FAO. 635-655 p.
- Souza, MH; Ibrahim, M; Harvey, C; Jiménez, F. 2000. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de La Fortuna de San Carlos, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):53-56.
- SAS (Systems Analysis Statistics, US). 1988. User's guide. 6.03 ed. Cary, US, SAS Institute. 1028 p.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, CR, CATIE. 71 p. (Serie Técnica no. 313)
- Tiedemann, AR; Higgins, DA; Quigley, TM; Sanderson, HR; Marx, DB. 1987. Responses of fecal coliform in streamwater to four grazing strategies. *Journal of Range Management* 40(4):332-329.
- Velásquez, S; Porras, M. 1998. Clasificación digital de imagen de satélite para elaboración del mapa de cobertura de la tierra de la parte alta de la cuenca del río Virilla. *Rescatemos el Virilla* 3(7):69-77.

VI. ARTICULO 2

IMPACTO DE LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES SOBRE LA RECUPERACIÓN DE PASTURAS DEGRADADAS, CALIDAD DE CORRIENTES DE AGUA Y SU CONTRIBUCIÓN EN EL SECUESTRO DE CARBONO EN LECHERÍAS DE ALTURA, SAN JOSÉ, COSTA RICA.

1. Introducción

La incorporación del componente leñoso dentro de las pasturas representa una serie de ventajas ecológicas, ya que los árboles utilizan eficientemente la energía solar y la convierten en biomasa; contribuyen a la protección y conservación de los recursos suelo, agua y biodiversidad (Bustamante et al. 1998, Martín et al. 2000). Así mismo son capaces de brindar sombra a los animales y conforman una fuente importante de leña, madera y alimento, ya sea para consumo humano o animal (Somarriba 1985, Botero 1995, Pezo e Ibrahim 1999, Harvey y Haber 1999, Casasola 2000).

Por medio de la fotosíntesis, las plantas actúan como sumideros al absorber el CO₂, liberar oxígeno y retener carbono en su biomasa, principalmente en la madera. Donde es posible retenerlo por largos períodos de tiempo (FWPRDC 1996). En este sentido los sistemas silvopastoriles pueden actuar como sumideros de carbono y al mismo tiempo evitar el agotamiento de los existentes, reduciendo la presión sobre los bosques (Dixon 1995).

A nivel del suelo los árboles son capaces de movilizar nutrientes minerales necesarios para las plantas y animales, desde capas profundas de la tierra e incorporarlos a la superficie, cuando poseen sistemas radiculares desarrollados. Sin embargo, bajo esta directriz los árboles fijadores de nitrógeno poseen cierto potencial para aumentar el nitrógeno y mejorar otras propiedades físicas y químicas de los suelos (Febles et al. 1995, Carvalho 1997, Esquivel 1997, Bustamante et al. 1998), ventajas que los hacen ser más atractivos en la recuperación de suelos degradados.

El jaúl (*Alnus acuminata*) es una especie leñosa, nativa de las partes altas (1400 – 3200 msnm), desde el Sur de México hasta algunos países de Sur América. Esta especie, sin ser leguminosa posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (40 a 320 kg ha⁻¹ año⁻¹) y otros atributos como establecerse fácilmente en sitios erosionados bajo condiciones de luz y humedad adecuados; colonizar en suelos sueltos, como los originados por derrumbes o la construcción de carreteras. Estas cualidades la convierten en una especie apropiada para la regeneración de suelos degradados (Russo 1990, CATIE 1995).

En Costa Rica, su uso en lechería de altura, bajo un sistema silvopastoril con pasto kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), se remonta a más de 90 años. En estos sistemas el jaúl regenera de manera natural en potreros, en los cuales se ha encontrado que el pasto crece mejor bajo sombra de jaúl que en lugares a pleno sol y en consecuencia, mayor producción de leche (Russo 1990). También se estima que bajo este sistema las fincas lecheras son capaces de generar en ciclos de 30 años otros productos procedentes del jaúl como madera y leña en cantidades de 70 m³ ha⁻¹ y 18.3 t ha⁻¹ (peso seco a 105°C), respectivamente (Canet 1985). Así mismo, en las partes altas de Colombia (2300 msnm), se ha incorporado a las pasturas de kikuyu (*Pennisetun clandestinum*) la especie *Alnus acuminata*, para que contribuya a la fijación de nitrógeno atmosférico, descompactación del suelo y que además ayude a la regulación hídrica y ciclaje de nutrientes en las praderas. Lo cual es favorable porque permite reducir la dependencia de insumos externos, elimina el impacto de la fertilización química y atenúa el efecto erosivo del pisoteo del ganado (Murgueitio y Calle 1999).

El propósito del presente estudio fue conocer la influencia del sistema silvopastoril *Alnus acuminata* (jaúl) con *Pennisetum clandestinum* (kikuyu) sobre la densidad aparente, resistencia a la penetración y nitrógeno total en suelos con uso tradicional en actividades ganaderas; capacidad de secuestro de carbono del sistema abajo del suelo y en el volumen total de madera. Así como también conocer la relación entre la modalidad silvopastoril árboles dispersos en potreros (pasturas) y la calidad de las corrientes de agua a nivel de los parámetros nitratos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y coliformes fecales.

2. Materiales y métodos

2.1. Localización del sitio

El presente estudio se llevó a cabo entre los meses de Marzo a Mayo del año 2001. El área de estudio comprendió la cuenca alta del río Virilla, localizada entre las coordenadas geográficas 9°57'30" a 10°05'00" latitud norte y 83°54'00" a 84°05'00" longitud oeste. Situada hacia el extremo noreste de la cuenca del río grande de Tárcoles, en la depresión intermontana central de Costa Rica (Anexo 1). Se constituye desde el nacimiento del río Virilla hasta su confluencia con el río Tibás, con un área equivalente a 141.8 km² (Castro y Porras 1995).

2.2. Selección de fincas para muestreo

El proyecto Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA) viene desarrollando programas de reforestación formal y ordenada a partir del año de 1997. Considerando la base de datos de dicho proyecto, se encontraron disponibles las edades de plantaciones de jaúl de dos, tres y cuatro años, en pasturas de kikuyu. En virtud a ello fueron seleccionadas tres fincas para cada una de las edades, dado a que fue el número máximo encontrado para las edades de tres y cuatro años. Las densidades promedio para cada una de las edades fue de 711, 889 y 667 árboles ha⁻¹ respectivamente. Así mismo se eligieron 3 fincas al azar para conformar el grupo de parcelas con pasturas en monocultivo (comparadores o testigo). Estas fueron tomadas de la base de datos de fincas lecheras de la zona, existente en el Centro Agrícola Cantonal de Coronado.

Las pasturas con árboles de jaúl, están sujetas a pastoreo por terneras de lechería (menores de 12 meses de edad) lo cual corresponde a una carga animal promedio de 0.75 UA ha⁻¹, dicha situación previene daños físicos a los árboles y la compactación al suelo. Mientras que las pasturas en monocultivo utilizan una carga animal promedio de 2.63 UA ha⁻¹.

Con respecto a la ubicación y tamaño de las parcelas; en el caso de las fincas con pasturas arboladas con jaúl presentaron áreas entre 5 y 10 ha bajo esta condición. Por lo tanto, fue

elegida una parcela de 2 ha en el sector donde se identificó a la mayor parte de la población de árboles con desarrollo uniforme. Esta área fue la utilizada para los muestreos de suelos y medición de árboles, que se detalla más adelante. Igualmente en las fincas con pasturas en monocultivo, el área elegida (2 ha) fue en base a criterios como: pasturas degradadas y suelos erosionados, mencionados por los finqueros como principales para destinar cierta área a la siembra de jaúl.

2.3. Variables evaluadas

2.3.1. Densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo

Estas variables físicas del suelo se determinaron a un nivel de profundidad de 0-20 cm. La densidad aparente (DA en g cm^3) se determinó por el método de cilindro de volumen conocido, tomando tres muestras al azar en cada parcela. También en el mismo momento y sitio de muestreo, se estimó la resistencia a la penetración (kg m^2) usando el penetrómetro manual de bolsillo. Así mismo, se determinó la pendiente (%) y la altitud (msnm) de la parcela de muestreo, por medio del hipsómetro Suunto y un altímetro de reloj, respectivamente.

2.3.2. Nitrógeno total

Este parámetro se determinó a nivel de dos profundidades en el suelo (0-20 y 20-40 cm). Para ello se tomaron al azar dentro de cada parcela 15 submuestras de suelo, con las cuales se conformó una muestra compuesta de 500 g de suelo (Cerezo 1995 y Henríquez et al. 1995). La determinación del porcentaje de nitrógeno fue por el método del semi microKjeldahl (Jackson 1982).

2.3.3. Carbono almacenado en el sistema silvopastoril

2.3.3.1. Carbono orgánico en el suelo (COS)

El COS se determinó en tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) por medio del método Walkley y Black (1990). Para este propósito se utilizaron las mismas muestras consideradas para la determinación de nitrógeno total, más la inclusión del estrato 40-60 cm de profundidad. Finalmente, para la estimación del carbono orgánico almacenado en el suelo se utilizó la fórmula siguiente:

$$\text{COS} = A * P * \text{DA} * C$$

donde:

COS= equivale al carbono almacenado (t C ha^{-1})

A= unidad de superficie (m^2)

P= profundidad (m)

DA= densidad aparente del suelo (t m^3)

C= porcentaje de carbono orgánico en el suelo (%)

2.3.3.2. Carbono en la madera de jaúl

El carbono almacenado (t ha^{-1}) y fijado ($\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en el volumen total de madera de jaúl se determinó con la herramienta MIRASILV (Ugalde 2001). Este software requirió la información de las variables diámetro a la altura del pecho (dap), altura total, peso específico y la fracción de carbono. Para la obtención de las variables dap y altura total, se establecieron dos parcelas en la misma área usada para muestreo de suelos, con un tamaño individual de 300 m^2 en cada una de las fincas que contienen pasturas con jaúl. Las citadas variables fueron obtenidas por medio de una cinta diamétrica e hipsómetro Suunto, respectivamente. El peso específico de la madera utilizado fue de 0.38 g cm^3 (Reyes et al.1992); con respecto a la fracción de carbono, dado a que no se dispone del dato específico del jaúl se utilizó el valor de 0.50 (Brown y Lugo 1984, IPCC 1996).

Al programa MIRASILV también se ingresó la ecuación de regresión, para la estimación del volumen total de madera con corteza (VOLTM) a partir del dap y altura total de los árboles $V = 0.00296 + 0.00007d + 0.00003d^2h$; $R^2 = 0.92$ generada para *A. acuminata* de 42 meses de edad (Murillo et al. 1985).

2.3.3.4. Carbono Total

El carbono total almacenado se determinó de la manera siguiente:

$$CTA \text{ (tC ha}^{-1}\text{)} = COS + CVOLTM$$

donde:

CTA= Carbono total almacenado

COS= Carbono orgánico almacenado en el suelo

CVOLTM= Carbono almacenado en el volumen total de madera

2.4. Calidad de las corrientes de agua

Fueron seleccionados 2 sitios (quebradas o ramales de primer orden dentro de la cuenca) en diferente finca lechera cada uno y presentaron su origen o nacimiento dentro de la misma finca. Un sitio bajo la tecnología silvopastoril árboles dispersos en pasturas y otro sin árboles en las pasturas, ambos aledaños a las corrientes de agua. Con la idea de tener una mejor definición de cada sitio se midieron las variables siguientes: densidad de árboles (individuos ha^{-1}), ancho del bosque de galería (m), distancia de la corriente de agua al área de pastura (m), especie de pasto predominante, calificación de la pastura (según la clasificación de Spain y Gualdrón 1998), carga animal vigente en la pastura (UA ha^{-1}), dosis de fertilizante aplicado en la pastura ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), pendiente de terreno (%) y la longitud entre puntos de muestreo (m).

Finalmente en cada sitio se establecieron 2 puntos de muestreo de aguas. El primero en la parte de aguas arriba cerca del nacimiento; el segundo aguas abajo donde terminaba el efecto

de la variable principal, con presencia o sin presencia de árboles en las pasturas aledañas a las corrientes de aguas. En los puntos definidos fueron tomadas muestras de agua para la determinación de los parámetros de calidad, nitratos (NO_3), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y coliformes fecales. Esto fue realizado por el laboratorio de manejo del recurso hídrico, de la Escuela de química de la Universidad Nacional de Costa Rica.

2.5. Análisis Estadístico

Análisis univariado (media y desviación estándar) para las variables: densidad aparente, resistencia a la penetración, nitrógeno total en el suelo, carbono orgánico en el suelo, carbono en el volumen total de madera de jaúl y parámetros de calidad de aguas. Estos últimos también fueron comparados con los estándares de calidad para aguas de consumo humano presentados por la literatura. Para conocer el grado de relación entre densidad aparente y resistencia a la penetración se realizó un análisis de correlación.

Análisis de regresión lineal múltiple para los grupos de variables siguientes:

- ?? DA del suelo versus edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y materia orgánica del suelo.
- ?? Resistencia a la penetración versus edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y materia orgánica del suelo.
- ?? Nitrógeno total en el suelo versus edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y materia orgánica del suelo.
- ?? COS versus edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y nitrógeno total.

La variable nitrógeno total y COS fueron sometidas a un análisis de varianza: en el nitrógeno total se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial (4×2), en el cual el primer factor fue la edad de los árboles de jaúl en pasturas (2, 3, 4 años y pastura en monocultivo como testigo); el segundo factor correspondió a la profundidad de 0-20 y 20-40 cm. El COS fue sujeto a un diseño completamente al azar en arreglo factorial (4×3), donde la edad del jaúl fue 2, 3, 4 años y pastura en monocultivo como testigo y el factor profundidad 0-20, 20-40 y 40-60 cm. En ambos casos se utilizaron 3 repeticiones (fincas).

3. Resultados

3.1. Densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo

La DA mostró una tendencia decreciente conforme aumenta la edad de los árboles de jaúl en las pasturas, correspondiendo el valor más alto a las pasturas en monocultivo (Figura 5). El análisis de regresión lineal múltiple detectó influencia significativa ($p < 0.01$) de las variables edad (x_1 , años) y materia orgánica (x_2 , %) en la explicación parcial de la variabilidad de la DA (Y , g cm^3) por medio del modelo $Y = 1.41 - 0.02x_1 - 0.04x_2$; $R^2 = 0.74$.

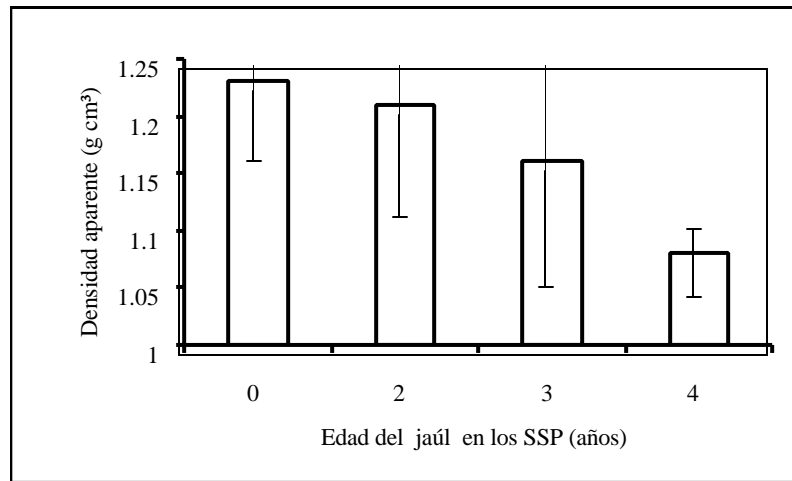


Figura 5. Comportamiento de la densidad aparente en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM=0) y sistemas silvopastoriles (SSP) con jaúl de diferentes edades, San José, Costa Rica, 2001. Las barras de error corresponden a la desviación estándar.

La resistencia a la penetración, mostró un comportamiento similar al de la DA conforme aumenta la edad de los árboles de jaúl en las pasturas, con valores comprendidos entre 3.16 y 2.14 kg m^2 , para el sistema en monocultivo y el sistema silvopastoril con jaúl de 4 años años, respectivamente. En el análisis de regresión lineal múltiple, solo la edad de los árboles (x , años) influyó significativamente ($p < 0.01$) sobre la explicación parcial de la variación de la resistencia a la penetración (Y , kg m^2) por medio del modelo $Y = 3.18 - 0.24x$; $R^2 = 0.83$ (Figura 6). Igualmente es importante mencionar que la DA y la resistencia a la penetración,

constituyen indicadores para medir el grado de compactación en suelos, la correlación registrada fue significativa ($r=0.63$; $p<0.05$).

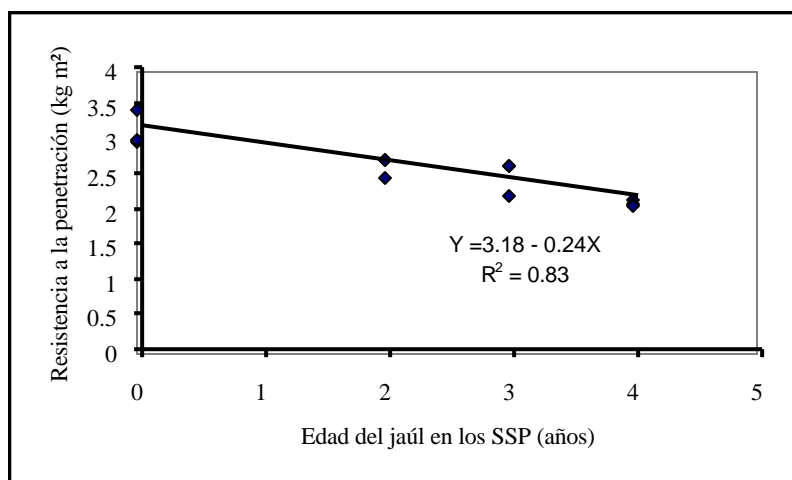


Figura 6. Relación entre la resistencia a la penetración del suelo y la edad del jaúl en los sistemas silvopastoriles (SSP), en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001. (0= pasturas en monocultivo).

3.2. Nitrógeno total

La concentración de nitrógeno en el suelo presentó diferencia significativa entre edades ($p<0.01$), no así para profundidad e interacción edad y profundidad ($p>0.05$) (Anexo 6). En este sentido los SSP mostraron una mayor concentración de nitrógeno total en el suelo que las PM. La concentración de este elemento en el suelo, en los estratos de 0-20 y 20-40 cm de profundidad presentó una tendencia a incrementarse conforme aumentó la edad del jaúl en las pasturas (Figura 7). El nitrógeno (Y, %) de acuerdo al análisis de regresión lineal múltiple, presentó una relación significativa ($p<0.01$) con la edad del jaúl (x_1 , años) y la materia orgánica del suelo (x_2 , %) para lo cual se ajustó el modelo $Y=0.06 + 0.04x_1 + 0.02x_2$; $R^2=0.84$.

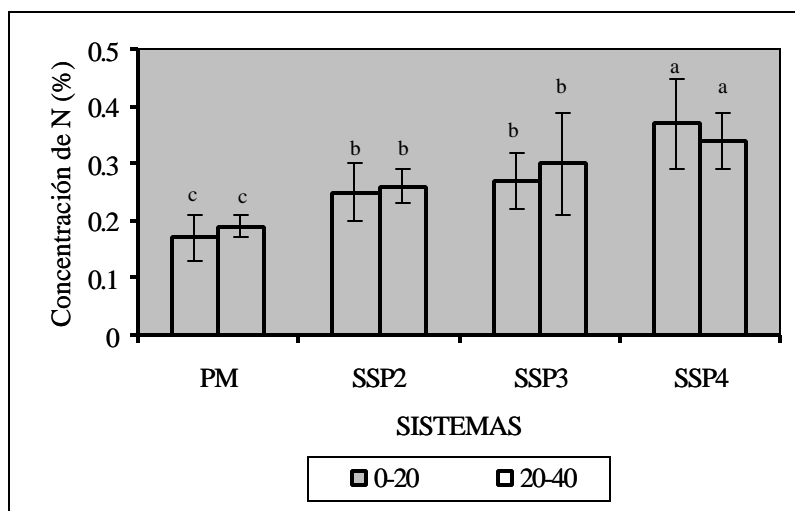


Figura 7. Concentración de nitrógeno total a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM) y asociadas con jaúl en distintas edades (SSP2, SSP3, SSP4), San José, Costa Rica, 2001. (Letras distintas denotan diferencia significativa, según prueba de Duncan $p < 0.01$).

3.3. Carbono total almacenado

La edad de los árboles de jaúl no afectó significativamente ($p > 0.05$) el COS, mientras que los niveles de profundidad influyeron sobre este parámetro ($p < 0.05$). La interacción entre los factores edad y profundidad no fue significativa ($p > 0.05$) (Anexo 7). Sin embargo el COS total contenido en el estrato de 0-60 cm se incrementó ligeramente conforme aumentó la edad de los árboles de jaúl en las pasturas (Cuadro 8 y 9). En el análisis de regresión lineal múltiple, el COS no presentó relación significativa ($p > 0.01$) con ninguna de las variables consideradas.

El carbono almacenado en el VOLT_M de jaúl, en los sistemas silvopastoriles fue de 1.07, 4.17 y 6.2 para las edades de 2, 3 y 4 años, respectivamente (Cuadro 3). Para estas edades la tasa de fijación de carbono ($t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en la madera correspondió a 0.53, 1.43 y 1.7 respectivamente. El carbono total almacenado reflejó un comportamiento ascendente conforme aumentó la edad del jaúl dentro del sistema silvopastoril (Cuadro 9).

Cuadro 8. Carbono orgánico secuestrado ($tC\ ha^{-1}$) a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas en monocultivo y asociadas con jaúl de diferentes edades, San José, Costa Rica, 2001.

PROFUNDIDAD (cm)	SISTEMAS			
	PM *	SSP2 **	SSP3	SSP4
0-20	65.09±15.76	73.23±14.18	69.65±8.24	78.42±3.82
20-40	62.69±9.73	62.30±5.18	64.12±9.64	65.69±5.44
40-60	56.77±9.01	51.09±8.70	61.70±7.90	52.61±3.42

* PM: pastura en monocultivo. ** SSP2: sistema silvopastoril con jaúl de 2 años de edad; SSP3: sistema silvopastoril con jaúl de 3 años de edad; SSP4: sistema silvopastoril con jaúl de 4 años de edad.

Cuadro 9. Carbono total almacenado en las pasturas sin árboles y en pasturas asociadas con jaúl de diferentes edades, San José, Costa Rica, 2001.

SISTEMAS	Carbono orgánico en el suelo ($t\ ha^{-1}$)	Carbono en el volumen total de madera ($t\ ha^{-1}$)	Carbono total almacenado en el sistema ($t\ ha^{-1}$)
PM	184.55±32.20	0.0	184.55
SSP2	186.62±46.16	1.07±0.64	187.70
SSP3	195.47±24.85	4.17±1.71	199.64
SSP4	196.72±9.06	6.20±0.8	202.92

3.4. Calidad de las corrientes de agua

En las características que definen a cada uno de los sitios designados para el muestreo de la calidad de las corrientes de agua, contrastan las variables densidad de árboles, fertilización y la pendiente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Características de los sitios definidos para el monitoreo de calidad de corrientes de aguas, en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

VARIABLES	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN GANADERA	
	SSP	ST
Densidad arbórea (árboles ha ⁻¹)	23	0
Ancho del bosque de galería (m)	5	2
Distancia de la corriente de agua al área de pastura (m)	5	2
Especie de pasto predominante	kikuyu	kikuyu
Calificación visual de la pastura (según clasificación de Spain y Gualdrón 1997)	1	2
Carga animal de la finca (UA ha ⁻¹)	2.0	2.41
Fertilización (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)	103	300
Longitud entre puntos de muestreo (m)	400	400
Pendiente promedio (%)	60	17
Altitud (msnm)	2270	1780
Sistema Silvopastoril	X	
Sistema Tradicional		X

Los valores medios encontrados en las corrientes de agua para el sitio con SSP fueron 2.87, 0.74 y 330 para nitratos, DBO₅ y coliformes fecales respectivamente. En el caso del sitio bajo sistema tradicional los valores medios fueron 0.70, 0.42 y 1950 para cada uno de los parámetros respectivamente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Calidad de las corrientes de agua en diferentes puntos de muestreo dentro de fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

SITIOS DE MUESTREO (Fincas)	PUNTOS DE MUESTREO	NITRATOS mg l ⁻¹		DBO ₅ mg l ⁻¹		COLIFORMS FECALES UFC 100 ml ⁻¹	
Sistema silvopastoril ^a	1	2.19	2.87	0.73	0.74	230	330
	2	3.55		0.74		430	
Sistema tradicional ^b	1	0.56	0.70	0.36	0.42	2400	1950
	2	0.83		0.49		1500	

^a Estos presentan árboles dispersos en las pasturas. ^b Pasturas sin árboles.

4. Discusión

4.1. Densidad aparente y resistencia a la penetración

La DA mejoró con la presencia de árboles de jaúl en las pasturas, lo cual es más notorio conforme aumenta la edad de los árboles. La DA encontrada en los sistemas de PM y SSP4 fue de 1.23 y 1.08 g cm³, respectivamente. Ello se atribuye a los aumentos de materia orgánica que ocurren en suelos cubiertos con pasturas y árboles, lo cual podría ser resultado de una mayor actividad en el crecimiento y descomposición de raíces del pasto y de los árboles. Situación que provoca un incremento del espacio poroso del suelo y por ende mejor intercambio de líquidos y gases (Cooperband y Logan 1993, Arévalo et al. 1998, Fuentes et al. 1998). Así mismo es oportuno señalar que dicho efecto está concatenado al aporte de nitrógeno fijado por el jaúl (Russo 1990).

Sin embargo en la zona atlántica de Costa Rica, en suelos con textura similar a la del presente estudio (franco arenosa), sistemas asociados de gramíneas mejoradas con leguminosas herbáceas con una edad menor de seis años, mostraron valores de DA menores a 1 g cm³ (Ibrahim 1994, Torres 1995). Diferencia que puede estar relacionada a la edad de los suelos con uso en ganadería, el tipo de explotación animal, alta carga animal y a factores climáticos de la zona de estudio. En sentido contrario Pinzón y Amézquita (1991), en pasturas en monocultivo en el piedemonte de Colombia, reportan valores superiores a los del presente estudio, de 1.33 y 1.50 g cm³ en suelos con predominio de arena y arcilla, respectivamente.

La resistencia a la penetración fue más baja en los suelos cubiertos con pasturas y árboles, mientras que los valores mayores se presentaron en los suelos con pasturas en monocultivo. La resistencia a la penetración guardó relación en cuanto a la tendencia a decrecer con la densidad aparente en el primer estrato del suelo de 0-20 cm.. Ambos parámetros son indicadores del nivel de compactación existente en los suelos, ocasionado generalmente por las actividades agropecuarias. Dicho impacto según Reátegui et al.(1990), Escobar y Loriatti (1992) y Spain y Gualdrón (1997), se localiza en los primeros 20 cm de profundidad en suelos afectados por sobrepastoreo de los animales.

Autores como Pinzón y Amézquita (1991), señalan relaciones similares entre la densidad aparente y resistencia a la penetración en términos de compactación de suelos y afirman que dicho efecto tiende a aumentar conforme se incrementa el contenido de arcilla en los suelos. Dicho fenómeno no se pudo diferenciar en el presente estudio, dado a que los suelos presentaron una textura similar, franco arenosa. Vale la pena indicar, que los resultados de la presente investigación referente a la determinación del grado de compactación en los suelos, reflejan la posibilidad de estimarla por medio del parámetro de resistencia a la penetración, para el cual se utiliza una metodología sencilla, de bajo costo, rápida y práctica en el campo.

4.2. Nitrógeno total

Los sistemas silvopastoriles con jaúl mostraron una concentración de nitrógeno mayor que las pasturas en monocultivo la cual varió de 0.37 a 0.17, respectivamente. Ello se puede atribuir a la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico del jaúl en simbiosis con el actinomiceto *Frankia*, que puede alcanzar hasta los 320 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Ruso 1990). Este comportamiento coincide con Bolívar (1998) quien encontró valores superiores de nitrógeno en el suelo en un sistema silvopastoril con *Acacia mangium* y *Brachiaria humidicola* en comparación a pasturas en monocultivo.

En las lecherías de altura de costa Rica, dado a que son sistemas de producción intensiva, utilizan altas cantidades de fertilizante nitrogenado. Sin embargo aprovechando las bondades del jaúl en términos de fijación de nitrógeno atmosférico al suelo y que los pastos combinados crecen muy bien o mejor que cuando están en monocultivo, muchos ganaderos han permitido su presencia dentro de las pasturas y con ello reducir el uso de formulas químicas nitrogenadas (Poschen 1980, Russo 1990).

4.3. Carbono total almacenado

El COS total almacenado por las pasturas con árboles de jaúl, fue similar al reportado para los sistemas silvopastoriles de *Cordia alliodora* con *Panicum maximum*, que osciló entre 180 y 200 tC ha⁻¹ en un perfil de 50 cm de profundidad (López et al. 1999). Otros autores como

Fisher y Trujillo (2000) reportan similares valores de secuestro de carbono a nivel del primer estrato de 0-20 cm de profundidad del suelo, con 71 y 65 tC ha⁻¹ en sistemas asociados de *Andropogon gayanus* + *Stylosanthes capitata* y *Brachiaria dictioneura* + *Centrosema acutifolium*, respectivamente.

Sin embargo es importante señalar que, algunos estudios indican que el secuestro de COS está asociado a la concentración de nitrógeno en el suelo (Fisher y Trujillo 2000). Así mismo, pueden influir otros factores como el clima, vegetación, relieve, material parental, edad del sistema imperante en la explotación de los suelos y algunas de sus características físicas, químicas y biológicas (Díaz-Romeu et al. 1970, Palencia y Martíni 1970).

La tasa de fijación de carbono (t ha⁻¹) expresadas por las diferentes edades del jaúl, son inferiores a lo reportado por Ávila (2001), quien encontró valores de 2.2 y 1.8 tC ha⁻¹ año⁻¹ para sistemas silvopastoriles de tres años de edad de *Brachiaria brizantha* con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta*, respectivamente. Ello se puede atribuir a los factores ligados al jaúl siguientes: no se consideró la biomasa aérea total, menor densidad de la madera, altas densidades existentes y a la fuerte competencia del pasto kikuyu, la cual ocurre desde el momento de la siembra.

El carbono total almacenado en los sistemas PM y SSP4, varió de 184.55 a 202.92 t ha⁻¹ del cual la mayor parte tiene como fuente principal el COS, con un aporte superior al 97%. En ese sentido Fisher et al. (1994) y López et al. (1999), señalan que las pasturas mejoradas bajo texturas franco arenosas poseen una alta densidad de raíces, lo cual les permite adicionar constantemente carbono al suelo por medio de la descomposición rápida de sus raíces.

Una estrategia para incentivar a los ganaderos de las lecherías de altura, a la plantación de maderables dentro de las pasturas, sería el considerarlos en el pago de servicios ambientales, acorde a la capacidad de fijación y almacenamiento de carbono de los sistemas de producción. Con ello los sistemas ganaderos bajo el enfoque silvopastoril, podrían reflejar más atracción al aumentar el valor agregado de los productos.

4.4. Sistemas silvopastoriles y la calidad de las corrientes de agua

Los nitratos presentaron los mayores valores en los sitios con sistemas silvopastoriles aledaños. Ello se atribuye a que estas pasturas recientemente habían recibido la aplicación de fertilizantes nitrogenados, además de presentar pendientes muy fuertes, condición favorable para el movimiento del agua hacia las corrientes. Sin embargo las concentraciones encontradas en las corrientes de agua de los sitios fue menor al nivel máximo permitido para aguas destinadas al consumo humano, este valor corresponde a 10 mg l^{-1} de nitrógeno nítrico, equivalente a 45 mg l^{-1} de nitratos (EPA 1976, CEPIS Y OPS 1999). Un estudio de calidad de aguas en la cuenca alta del río Virilla, el cual incluyó cuatro monitoreos durante un año, mostró en sitios ligados a la actividad ganadera un valor promedio de 3.3 g l^{-1} ($2.55 - 5.0$), coincidiendo como valor debajo del nivel crítico, (Coto y Salgado 2001).

Es importante señalar que aguas destinadas para consumo humano con valores de nitratos superiores a los estándares, constituyen un riesgo para la salud. Estos nitratos si logran reducirse a nitritos podrían reaccionar con la hemoglobina de la sangre y formar el complejo metahemoglobina (síndrome del bebe azul), lo cual puede llegar a causar en casos extremos hasta la muerte en infantes (EPA 1988, Boyce et al. 1994). Altas concentraciones de nitratos están relacionadas con problemas cancerígenos en humanos. Igualmente en ganadería bovina se ha detectado repercusión en la salud reproductiva y producción de leche, como consecuencia de altos niveles de nitratos consumidos por medio del agua, procedentes de las altas dosis de fertilizantes nitrogenados aplicados en las pasturas (Boyce et al. 1994).

La DBO_5 presentó concentraciones menores en ambos sitios, estos valores igualmente se encuentran por debajo del nivel máximo de aceptación, equivalente a 4 mg l^{-1} para aguas de consumo humano, previo tratamiento (Schulz y Okun 1990). Las coliformes fecales presentaron concentraciones mayores en las corrientes de agua aledañas a las pasturas sin árboles. Esta situación se podría explicar considerando que, el sitio presentó algunas condiciones favorables tales como: posee una pobre vegetación de galería o bosque ripario y las pasturas colindan con la ribera de las corrientes de agua. La concentración de coliformes fecales en el agua según EPA (1976) es catalogado como el indicador de mayor importancia

para definir la calidad de aguas. Cabe señalar que la concentración de coliformes fecales se encuentra por debajo del límite máximo permitido para aguas crudas para el abastecimiento público, previo tratamiento, equivalente a 5000 UFC. Sin embargo si, el uso es para fines recreativos, el agua no es apta (Schulz y Okun 1990, APHA, AWWA y WEF 1992).

Coto y Salgado (2001) en el monitoreo de calidad de aguas en la cuenca alta del río Virilla, encontraron concentraciones para DBO_5 y coliformes fecales diferentes a las del presente estudio. Los valores fueron 6.17 g l^{-1} (2.11 – 12.12) y 1891 UFC en 100 ml (767.50 – 2905) respectivamente. Para el caso de la DBO_5 supera el límite de aceptación, no así con las coliformes fecales.

La contaminación de corrientes de agua en la cuenca alta del río Virilla es atribuible a varios factores tales como: descarga directa de los desechos orgánicos por fincas lecheras hacia las corrientes de agua más cercanas, lo cual es favorecido por la topografía quebrada predominante en la zona. Así mismo cabe señalar que otra fuente de contaminación puntual, ocurre cuando el ganado se traslada a otros potreros y debe atravesar corrientes de agua, generalmente con bajos caudales (ríos, quebradas o arroyos). En este evento el ganado contribuye a la contaminación del agua por medio del pisoteo directo y el acto de mayor impacto, consiste en la descarga de los desechos orgánicos (heces y orina) cerca de la corriente o directamente.

En términos generales Tiedemann et al (1987), indica que la presencia de ganado ejerce un efecto negativo sobre la calidad bacteriana en las aguas superficiales, en comparación a aquellas zonas con ausencia de ganado. El mismo autor indica que la vegetación herbácea en combinación con árboles o arbustiva como protección de las orillas de las corrientes de agua juegan un papel más sobresaliente en la conservación de la calidad de las aguas que los mismos árboles solos.

4.5. Aplicación del estudio

La cuenca alta del río Virilla presenta condiciones de fragilidad de suelos por la textura arenosa y franco arenosa que posee; así como también por el uso intensivo del suelo a nivel de ladera por parte de la ganadería. En tal virtud es necesario el aumento de la cobertura vegetal dentro de los sistemas de producción animal (actualmente es muy baja alrededor de 10 árboles ha^{-1}), por medio de una especie nativa como *Alnus acuminata*, la cual ha demostrado poseer atributos como fijación de nitrógeno, restauración de suelos degradados en conjunto con la especie de pasto *Penisetum clandestinum*. Dicho enfoque podría mitigar la vulnerabilidad a deslizamientos, erosión, sedimentación a nivel de la cuenca, contribuir a mayores secuestros de carbono dentro de los sistemas ganaderos y en un mediano plazo alcanzar un enfoque de ganadería ambiental.

Es importante destacar que en los sistemas de pastoreo intensivos a nivel de cuenca, es necesaria la inclusión del componente arbóreo, ya que estudios conducidos por Ahmed et al. (1987) y Martínez et al. (1992) señalan que los efectos de la compactación a causa de los sistemas intensivos en monocultivo, están asociados a reducciones en la tasa de infiltración, crecimiento de las plantas e incrementan las probabilidades de erosión.

Otro punto importante es que, bajo esta perspectiva los sistemas silvopastoriles con jaúl permitirían reducir el uso de fertilizantes químicos nitrogenados en fincas lecheras de la cuenca, el cual es en promedio de 200 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Situación que también se asocia a una menor fuente de contaminación por nitratos para las aguas, ya sean superficiales o subterráneas.

Con respecto a la relación de los sistemas silvopastoriles con la calidad de las corrientes de agua, fue evidente el contraste de las concentraciones de los parámetros DBO_5 y coliformes fecales obtenidos en el monitoreo durante un año (Coto y Salgado 2001) y los resultados alcanzados en el presente estudio. Esta situación refleja que para poder lograr conclusiones más consistentes es necesario realizar estudios con una duración mayor a un año, monitoreos

en las diferentes épocas del año y considerar los distintos cambios del entorno, debidos al manejo de pasturas y animales.

5. Conclusiones

La densidad aparente y la resistencia a la penetración reflejaron un mejor comportamiento en los sistemas silvopastoriles. Así mismo, estos parámetros fueron mejores conforme aumentó la edad de los árboles en los sistemas. Sin embargo los factores más relacionados en la variación de los citados parámetros fueron la materia orgánica y la edad para el primero y únicamente la edad de los árboles de jaúl para el segundo.

Los sistemas silvopastoriles con jaúl presentaron significativamente una mayor concentración de nitrógeno total en el suelo en comparación a las pasturas en monocultivo. Los valores mostraron un comportamiento ascendente conforme aumentó la edad de los árboles de jaúl.

La profundidad presentó un efecto significativo sobre el COS, no así la edad y la interacción entre ambos factores. El COS almacenado en todo el perfil (0-60 cm) tendió a incrementarse conforme aumentó la edad de los árboles de jaúl.

Las tasas de fijación de carbono por el jaúl dentro de los sistemas silvopastoriles fue de 0.53, 1.43 y 1.7 t ha⁻¹ año⁻¹, en edades de 2, 3 y 4 años, respectivamente. Ello refleja una faceta positiva de estos sistemas como una alternativa de producción animal ecoamigable.

Las corrientes de agua aledañas a pasturas con la modalidad silvopastoril árboles dispersos en potreros presentaron menores concentraciones de coliformes fecales en comparación a las corrientes de agua aledañas a pasturas sin árboles. Sin embargo con respecto a los parámetros nitratos y demanda bioquímica de oxígeno, esta última condición mostró menores concentraciones.

6. Recomendaciones

Continuar promoviendo los sistemas silvopastoriles con jaúl en las fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla. Con el objeto de restaurar y conservar los suelos, aumentar la fijación de carbono por el sistema y reducir el uso de fertilizantes nitrogenados.

Realizar estudios de mayor duración en sistemas silvopastoriles para conocer el comportamiento de los componentes suelo, pasto kikuyu y la especie maderable jaúl en términos de beneficios sociales, económicos y ambientales a nivel de fincas lecheras de altura.

Es importante evaluar densidades de árboles de jaúl en combinación con diferentes cargas animales en las pasturas de fincas lecheras de altura, con el propósito de determinar la densidad óptima, que maximice los beneficios para la empresa ganadera, en términos de leche, madera y secuestro de carbono. Así como también identificar las prácticas de manejo de pasturas que favorecen la regeneración natural del jaúl, el período de tiempo mínimo óptimo de ausencia de pastoreo para el establecimiento eficiente de los árboles en las pasturas, ya sea natural o plantados.

Con respecto a la relación de los sistemas silvopastoriles y la calidad de las corrientes de agua, es importante desarrollar metodologías más específicas en corrientes de agua con caudales menores para identificar la magnitud de los efectos de fuentes puntuales. Así mismo, considerar que los estudios sean de mayor duración (mayores de 1 año); que incluyan frecuencias de monitoreo en las diferentes épocas marcadas en la zona y un mayor número de parámetros de calidad de aguas para establecer índices de calidad.

7. Bibliografía

- Ahmed, A; Schumand, G; Hart, R. 1987. Soil bulk density and water infiltration as affected by grazing systems. *J. of Range Management* 40(4):307-309.
- APHA (American Public Health Association, US); AWWA (American Water Works Association, US); WEF (Water Environment Federation, US). 1992. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington, DC, APHA. p.irr.
- Arévalo, LA; Alegre, JC; Bandy, DE; Szott, T. 1998. The effect of cattle grazing on soil physical and chemical properties in a silvopastoral system in the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems* 40(2):109-124.
- Ávila, G; Jiménez, F; Beer, F; Gómez, M; Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32-35.
- Bolívar, D. 1998. Contribución de *Acacia mangium* al mejoramiento de la calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- Botero, R. 1995. Tecnologías básicas para una ganadería sostenible. *Carta Ganadera, Colombia*. 32(6):24-29.
- Boyce, JK; Fernández, A; Furst, E; Segura BO. 1994. Café y desarrollo sostenible del cultivo agroquímico a la producción orgánica en Costa Rica. Heredia, CR, EFUNA. 248 p.
- Brown, S; Lugo AE. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*, 223:1290-1293.
- Bustamante, J; Ibrahim, M; Beer, J; 1998. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. *Agroforestería en las Américas* 5(19):11-16.
- Canet, G. 1985. Características del sistema silvopastoril jaúl (*Alnus acuminata*) con lechería de altura en Costa Rica. *In* Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y técnicas de recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. (1985, Turrialba, CR). Actas. Ed. R Salazar. Turrialba, CR, Texto. 241-250 p.
- Carvalho, MM. 1997. Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro sur del Brasil. *Agroforestería en las Américas* 4(15): 5-8.
- Casasola, F; Ibrahim, M; Harvey, C; Kleinn, C. 2000. Caracterización y productividad de sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(30):17-20.

- Castro, G; Porras, M. 1995. Taller manejo integrado de cuencas con énfasis en extensión: plan de mejoramiento ambiental de la parte alta de la cuenca del río Virilla (PLAMA VIRILLA). Turrialba, CR. Compañía nacional de fuerza y luz. 14 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1995. Jaúl (*Alnus acuminata*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 40 p. (Informe técnico no. 248).
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente); OPS (Organización Panamericana de la salud). 1999. Calidad del agua. Guías OMS para la calidad del agua de bebida (en línea). San José, CR. Consultado 25 oct. 2001. Disponible en http://www.cepis.ops_oms.org/caliagua/guiasoms.html
- Cerezo, A. 1995. Técnicas de muestreo de suelo para evaluación de la fertilidad, en el establecimiento de plantaciones forestales. In Seminario técnico fertilización forestal (1995, Santiago, Veraguas, PA). Memoria. ed. RV Osorio. Turrialba, CR. CATIE. p. 30-36.
- Cooperband, LR; Logan, TJ. 1993. Baseline Soil Characteristics of a Humid Tropical Silvopastoral Systems and Changes in Selected Soil Properties. Turrialba 43(1):22-36.
- Coto, JM; Salgado, V. 2001. Calidad de las aguas de los principales cauces de las microcuencas I, II y III de la cuenca del río Virilla. Informe final. Heredia, CR. Universidad Nacional.
- Diaz-Romeu, R; Balerdi, F; Fassbender, HW. 1970. Contenido de materia orgánica y nitrógeno en suelos de América Central. Turrialba 20(2):185-192.
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases?. Agroforestry systems 31:99-116.
- EPA (Environmental protection Agency, US). 1976. Quality criteria for water. Washington, DC, EPA. 256 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 1988. Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. Washington, DC, EPA. 82 p.
- Escobar, CJ; Loriatti, JL. 1992. Características morfológicas y físicas de un ultisol del piedemonte amazónico. ICA 27:127-140.
- Esquivel, J. 1997. Efecto del componente arbóreo de un sistemas silvopastoril sobre la distribución espacial de nutrientes, biomasa microbial y densidad de lombrices en un suelo bajo pastoreo, en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 65 p.
- Febles, JM; Riverol, M; Treto, E. 1995. Manejo agroecológico de la fertilidad de los suelos en el trópico. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba. p. 11

- Fisher, MJ; Rao IM; Ayarza, MA; Lascano, CE; Sanz, JI; Tomas, RJ; Vera, RR. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371:236-238.
- Fisher MJ; Trujillo, W. 2000. Fijación de carbono por pastos tropicales en las sabanas de suelos ácidos neotropicales. *In* Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. Eds. C Pomareda; H Steinfeld. San José, CR, Nuestra tierra. 334 p.
- Fuentes, A; Chamorro, C; León, T. 1998. Caracterización ecológica de lombrices nativas bajo diferentes usos del suelo. *Agronomía Colombiana* 15(2-3):194-203.
- FWPRDC (Forest and wood products research and development corporation, AU). 1996. Environmental properties of timber.
- Harvey, CA; Haber, WA. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry systems*. 44(1):37-68.
- Henríquez, C; Bertsch, F; Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos, manual de laboratorio. Asociación Costarricense de ciencia del suelo. San José, CR. 64 p.
- Ibrahim, M. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grasses-legume mixtures for sustainable animal production in the atlantic zone of Costa Rica. Ph.D. Thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University. 129 p.
- IIPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). 1996. Report of the twelfth session of the intergovernmental panel on climate change. Reference manual and workbook of the IPCC 1996 revised guidelines for national greenhouse gas inventories. México, DF.
- Jackson, ML. 1982. Análisis químico de los suelos. Trad. J Beltrán. 4ª. ed. Barcelona, Omega. 281 p.
- López, A; Schlönvoigt, A; Ibrahim, M; Kleinn, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Americas* 6(23):51-53.
- Martin, G; Milera, M; Iglesias, J; Simón, L; Hernández, H. 2000. Sistemas silvopastoriles para la producción ganadera en Cuba. *In* Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. Eds. C Pomareda; H Steinfeld. San José, CR, Nuestra tierra. 334 p.
- Martinez, J; Noguera, N; Peters, W; Clavero, T; Casanova, A. 1992. Efecto de la compactación del suelo sobre la producción de forraje en pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq). *Agronomía LUZ* 9(2/3):97-108.

- Murgueitio, E. Calle, Z. 1999. Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. (En línea). Roma, FAO. Consultado el 15 de ene del 2001. Formato PDF. Disponible en <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Agrofor1.htm>
- Murillo, O; Camacho, P; Rojas, F. 1985. Análisis de plantaciones jóvenes de jaúl (*Alnus acuminata*) como una opción para el suministro de leña. In Simposio (1985, Turrialba, CR). Técnicas de producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva. Ed. R Salazar. Turrialba, CR, Texto. 301 - 314 p.
- Palencia, JA; Martíni, JA. 1970. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. Turrialba 20(3):325-332.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. 2 ed. Turrialba, CR. CATIE. 275 p. (Modulo de enseñanza agroforestal no.2).
- Pinzón, A; Amézquita, E. 1991. Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas tropicales 13(2):21-26.
- Poschen, P. 1980. El jaúl, árbol prometedor para fincas en zonas lecheras de costa Rica. San José, CR. 14 p. (Boletín divulgativo no. 30)
- Reátegui, K; Ruiz, R; Cantera, G; Lascano, G. 1990. Persistencia de pasturas asociadas con diferentes manejos del pastoreo en un ultisol arcilloso del Puerto Bermúdez, Perú. Pasturas Trópicas 12(1):16-24.
- Reyes, G; Brown, S; Chapman, J; Lugo, AE. 1992. Wood densities of tropical tree species. New Orleans, US, Forest service. s.p.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. Agroforestry Systems 10(3):241-252.
- Schulz, C; Okun, D. 1990. Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. 1 ed. México DF, Limusa. 391 p.
- Somarriba, E; Beer, J. 1985. Árboles de guayaba (*Psidium guajaba*) en pastizales. III. Producción de leña. Turrialba 35(4):333-338.
- Spain JM; Gualdrón, R. 1997. Degradación y rehabilitación de pasturas. In Reunión del comité asesor de la RIEPT (IV, 1988, Veracruz, MX). Establecimiento y renovación de pasturas. Eds. CE Lascano; JM Spain. Cali, CO, CIAT. p 269-283.
- Tiedemann, AR; Higgins, DA; Quigley, TM; Sanderson, HR; Marx, DB. 1987. Responses of fecal coliform in streamwater to four grazing strategies. Journal of range management 40(4):332-329.

- Torres, M. 1995. Características físicas, químicas y biológicas en suelos bajo pasturas de *Brachiaria brizantha* sola y en asocio con *Arachis pintoi* después de cuatro años de pastoreo, en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 98 p.
- Ugalde, LA. 2001. El sistema MIRA componente de silvicultura: manual del usuario. Turrialba, CR, CATIE. 91 p.
- Walkley, A; Black, T. 1990. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Part 2. 2a. Ed. Agronomy (serie no. 9).

VII. ARTICULO 3

BENEFICIOS DE UN MODELO DE GANADERÍA ECOLÓGICA EN LA CUENCA ALTA DEL RIO VIRILLA, SAN JOSÉ, COSTA RICA.

1. Introducción

Los sistemas silvopastoriles comprenden la interacción biológica y económica de leñosas perennes, forrajeras herbáceas y animales bajo un sistema de manejo integral, tendientes a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo (Somarriba 1992). Los árboles dentro de los sistemas silvopastoriles cumplen diversas funciones: sombra y abrigo para el ganado, madera (Pezo e Ibrahim 1996), leña (Somarriba y Beer 1985), forraje (Pezo e Ibrahim 1996), alimentos para consumo humano (Somarriba 1985) sin olvidar también otros beneficios como fuente de medicina natural y la belleza escénica, esta última es capaz de incorporarle plusvalía a la finca o darle un atractivo para promover ecoturismo, bajo un concepto de ganadería ambiental.

Existe poca información acerca del impacto de los sistemas silvopastoriles como estrategia para mitigar la contaminación que provocan los desechos orgánicos derivados de la actividad ganadera (sistemas de producción bovina), sobre las corrientes de agua. Este recurso está expuesto a la polución por la actividad ganadera tradicional, dado a que las excretas dispersas en los potreros, en determinados momentos, por efecto de las lluvias son lavadas a los cauces de los ríos. Sin embargo los desechos orgánicos acumulados en las salas de ordeño o establos después del ordeño y/o como producto del confinamiento de los animales manejados en sistemas semi estabulados, si pueden ser manipulados hacia tratamientos diversos como fosas sépticas, lagunas de oxidación, biodigestores y lombricompostaje. Estas operaciones son capaces de reducir el impacto negativo que, los desechos crudos son capaces de provocar cuando son dirigidos hacia las corrientes de agua ya sea directa o indirectamente.

En términos generales, Tiedemann et al. (1987) indica que la presencia de ganado ejerce un efecto negativo sobre la calidad bacteriana en las aguas superficiales, en comparación a

aquellas zonas con ausencia de ganado, dicho autor en conteos de coliformes encontró valores de 34 y 6 UFC/100 ml para ambientes con presencia y ausencia de ganado, respectivamente.

Así mismo es importante mencionar que en la cuenca alta del río Virilla las pasturas de las fincas lecheras son manejadas bajo un sistema de pastoreo intensivo; este sistema está asociado con altas aplicaciones de fertilizante nitrogenado que oscilan en los 300 a 450 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ (Ruso 1990) y contribuye de cierta manera a provocar efectos adversos sobre el suelo, el agua y el aire.

El uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) constituye una alternativa promisoría para el reciclado de los desechos orgánicos derivados de las explotaciones ganaderas, y al mismo tiempo generar un abono de alto beneficio para la parte química, física y biológica de los suelos de la propia finca. El estiércol de bovino es el mejor sustrato para la reproducción de la lombriz roja californiana, lo cual está relacionado a una mayor tasa de descomposición (Rodríguez y Pineda 1997). El uso de lombricompost como fertilización orgánica en fincas lecheras con altos consumos de fertilizante nitrogenado, implica reducir el uso de este elemento, originando beneficios económicos para el finquero y beneficios ambientales.

El proyecto Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA) está promoviendo un manejo sostenible de los recursos naturales en las fincas lecheras. Con el propósito de mitigar los impactos negativos como la contaminación de las aguas superficiales (ríos y quebradas). En este sentido se estableció una finca modelo que integra el uso de un banco forrajero con morera (*Morus alba*); como fuente de proteína y energía para la producción animal y para proteger los suelos contra la erosión. Además incluye el reciclaje de desechos orgánicos (heces y orina) por medio del proceso de lombricompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), lo cual permite reducir las pérdidas de nutrimentos del sistema y eliminar y/o reducir el uso de fertilizantes químicos.

El presente estudio fue desarrollado con el propósito de conocer el manejo y aprovechamiento de los desechos orgánicos (heces y orina) sometidos al proceso de lombricompostaje, producción de lombricompost y su calidad nutricional a nivel de una finca con enfoque

ecológico. Así como también determinar por medio de un análisis financiero los indicadores relación Beneficio Costo (B/C) e Ingreso Neto ha^{-1} de una finca con enfoque ecológico y una finca tradicional.

2. Materiales y Métodos

2.1. Localización del área de estudio

El estudio fue realizado en el cantón de Moravia, San José, Costa Rica entre Marzo y Julio del 2001, las fincas se localizan entre $10^{\circ}00'21''$ a $10^{\circ}00'36''$ latitud norte y entre $83^{\circ}59'23''$ a $84^{\circ}00'19''$ longitud oeste, con una altitud de 1500 msnm.

2.2. Selección de fincas

Fueron seleccionadas dos fincas: la primera catalogada como finca lechera con enfoque ecológico, la cual utiliza menor cantidad de insumos externos, posee tecnología silvopastoril y recicla los desechos orgánicos. La segunda definida como finca lechera tradicional, la cual aprovecha las pasturas bajo el método rotacional intensivo con altas dosis de fertilizante nitrogenado (Cuadro 12).

2.3. Consumo de agua en el lavado de los desechos orgánicos en las fincas ecológica y tradicional

El consumo de agua utilizado para el lavado del establo después de cada ordeño, se midió en ambas fincas, con una frecuencia de dos veces durante el estudio. Para ello se estimó el volumen del depósito de agua gastado en la mencionada práctica, así:

$$V (\text{m}^3) = \text{ancho} * \text{largo} * \text{profundidad}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ l de agua.}$$

Cuadro 12. Características de las fincas ecológica y tradicional en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

VARIABLE	FINCA ECOLÓGICA	FINCA TRADICIONAL
Área (ha)	7	16
Edad del sistema de producción actual (años)	3	>25
Hato bovino (UA)	15	57
Vacas en producción de leche	9	41
Pasto predominante	Estrella	Kikuyu
Raza bovina	Jersey	Jersey
Sistema de pastoreo	Rotacional intensivo	Rotacional intensivo
Sistema silvopastoril	Banco de proteína (<i>Morus alba</i>)	NO
Carga animal (UA ha ⁻¹)	2.14	3.56
Producción de leche en finca (kg día ⁻¹)	110	495
Producción de leche (kg vaca ⁻¹ día ⁻¹)	12	12
Número de ordeños	2	2
Destino de la leche	Procesamiento en finca	Dos Pinos
Consumo de concentrado por vaca en producción (kg día ⁻¹)	3	5.6
Consumo de concentrado por otras categorías de animales (kg día ⁻¹)	1	1.6
Fertilización química (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	0	334
Fertilización orgánica (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	2000	0
Uso de herbicidas	NO	SI
Recicla desechos orgánicos	SI	NO
Otras actividades productivas	Engorde de cerdos	NO

2.4. Manejo del estiércol o boñiga en una finca lechera con enfoque ecológico

En esta actividad fue seleccionada la finca “La Esperanza” designada como modelo por el PLAMA VIRILLA en el reciclaje del estiércol producido en el establo después de cada ordeño, por medio del proceso de lombricompostaje, realizado por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). En dicha finca se llevó a cabo la medición de las variables siguientes:

2.4.1. Producción de estiércol

En esta finca, como parte del manejo, el hato bovino es confinado en apartos individuales y techados a la 1 pm y se libera al pastoreo a las 5 am del siguiente día. Por lo tanto, el estiércol producido en el período de confinamiento (16 horas) fue pesado a las 7 am durante 4 meses, con una frecuencia de dos veces por mes.

2.4.2. Producción de lombricompost

Para obtener este parámetro se realizó una medición del procedimiento del lombricompostaje vigente en la finca:

- ?? El estiércol fresco fue pesado y depositado en dos pilas (infraestructura física de madera y metal donde se acumula material para el proceso del lombricompostaje), con una capacidad de 455 kg. cada una y en cada pila fue utilizado un inóculo de 7 kg. de lombrices jóvenes.
- ?? El material fue removido dos veces por mes, para lograr una descomposición uniforme en todo el sustrato.
- ?? El período de duración contemplado para dicho proceso fue de 90 días, de los cuales 15 fueron para reducir la humedad y recuperar las lombrices del sustrato. En esta última fase el sustrato recibió mayor exposición a la luz solar.
- ?? Al final del proceso se pesó el producto final (lombricompost o abono orgánico) y se determinó la eficiencia de conversión (EC) a través de la relación siguiente:

$$EC (\%) = (\text{peso fresco en kg} / \text{peso a los 90 días en kg}) * 100 .$$

2.4.3. Análisis químico del lombricompost

Del producto final del proceso de lombricompostaje fueron tomadas dos muestras de 300 g cada una, para un análisis de fertilidad (laboratorio de suelos de CATIE). Los parámetros determinados fueron: humedad (%), pH, nitrógeno (%), fósforo (mg kg^{-1}), potasio ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$), calcio ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) y magnesio ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$).

2.5. Análisis financiero de las fincas

Fue realizado un análisis financiero para el período de un año en una finca con enfoque ecológico y una finca tradicional. Los datos de los ingresos fueron obtenidos mediante entrevistas con los finqueros. Con respecto a los costos, el valor de los insumos gastados procedió de los registros de compras de las fincas y de centros de servicios agropecuarios. Las variables consideradas en el análisis financiero fueron organizadas en ingresos brutos, costos variables y costos fijos (Cuadro 13).

2.6. Análisis de la información

Análisis univariado para las variables producción de estiércol, producción de lombricompost y parámetros de calidad del lombricompost. El análisis financiero fue determinado mediante los indicadores: Relación Beneficio Costo (B/C) e Ingreso Neto ha^{-1} . Este último indicador elimina el efecto de tamaño de finca en el análisis (Gittinger 1989, Guerra 1998).

Donde:

$B/C = \text{Ingresos totales} / \text{Costos totales}$

$\text{Ingreso Neto } \text{ha}^{-1} = (\text{Ingresos totales} - \text{Costos totales}) / \# \text{ ha de la finca}$

Cuadro 13. Lista de variables consideradas en la estimación de los ingresos y costos para el análisis financiero en la finca con enfoque ecológico y finca tradicional, San José, Costa Rica, 2001.

VARIABLE	UNIDAD	FINCA ECOLÓGICA	FINCA TRADICIONAL
Ingresos brutos			
Leche fluida	kg		
Derivados de la leche (queso, natilla y mantequilla)	kg		
Venta de vacas de desecho	#		
Venta de terneros	#		
Ecoturismo	# de personas		
Lombricompost (abono orgánico)	kg		
Cerdos	# Unidades en pie		
Costos Variables			
Mano de obra	# de jornales		
Concentrado bovinos	kg		
Concentrado cerdos	kg		
Compra de cerdos	# Unidades en pie		
Desparasitantes	l		
Vacunas	cc		
Sales minerales	kg		
Sal común	kg		
Fertilizantes químicos	kg		
Herbicidas	l		
Energía eléctrica	kwh		
Gas propano para pasteurizadora	kg		
Combustible	l		
Consumo de agua	m ³		
Costos Fijos			
Mantenimiento construcciones y equipo			
Depreciación de lombricarios	Colones año ⁻¹		
Depreciación maquina tamizadora de lombricompost	Colones año ⁻¹		
Depreciación Instalaciones de cerdos	Colones año ⁻¹		
Gastos generales (5%)	Colones		

3. Resultados

3.1. Finca ecológica

Este modelo presenta los componentes e interacciones siguientes: el componente suelo contiene las coberturas de pasto estrella (*Cynodón nlemfuencis*), banco de proteína con morera (*Morus alba*) morera) y la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*); los cuales conforman la dieta de los animales. El suelo recibe un efecto adverso por medio del pisoteo de los animales, específicamente el cubierto por pasturas. Los animales aportan al suelo nutrimentos a través de las excretas (heces y orina) depositadas directamente (en el área de pasturas) o por medio del lombricompost, generado de las excretas recogidas en el área de confinamiento. Este último producto también, tiene una aplicación general en los suelos de la finca. Las excretas de los cerdos junto con el agua de lavado son distribuidas por medio de canales o acequias en el área de caña de azúcar y morera.

El componente animal está conformado por el hato bovino tipo leche y un lote de cerdos de engorde. El primer grupo es la actividad principal de la finca y de él se derivan otras actividades complementarias como es el caso de los cerdos y la lombricultura, con el propósito de reutilizar el suero procedente del procesamiento de la leche y los desechos orgánicos (heces y orina). El ciclo de engorde de los cerdos en la finca es de 4 meses; la alimentación consiste básicamente en morera + caña de azúcar y además reciben un complemento de suero y alimento comercial (concentrado) a razón de 4 y 2 kg por animal día⁻¹ respectivamente.

En términos generales el modelo guarda armonía con todos los componentes, con el afán de utilizar al máximo todos los insumos externos y los derivados dentro de la finca. Esto permite que el sistema reduzca la evacuación de los desechos orgánicos al ambiente y genere varios productos finales al mercado. Sobre estos últimos las estimaciones anuales comprenden: 1,392 kg de natilla, 3,456 kg de queso, 408 kg de mantequilla 5,520 kg de lombricompost, 40 cerdos en pie con un peso vivo promedio de 95 kg, 636 personas en ecoturismo y 2 vacas de desecho (Figura 8).

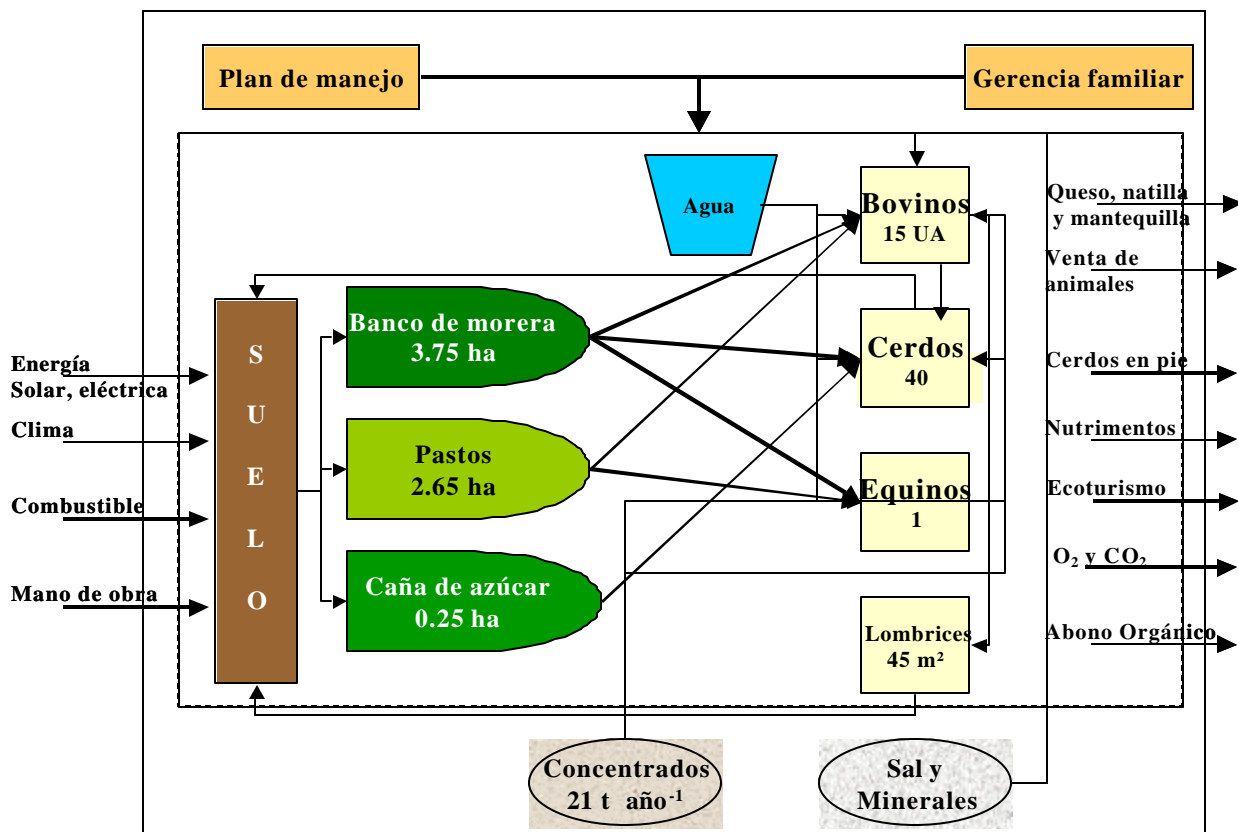


Figura 8. Diagrama con las entradas, componentes, interacciones y productos generados en una finca lechera con enfoque ecológico, San José, Costa Rica, 2001.

3.2. Finca tradicional

Presenta un modelo menos complejo en comparación a la finca ecológica. El suelo está cubierto solamente por el pasto kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), situación que permite que el suelo de esta área reciba efectos adversos (pisoteo) procedentes del ganado bovino. Sin embargo también recibe beneficios de las excretas del componente animal y de tejido muerto del pasto. El producto principal de la finca es la producción de leche fluida ($162,000 \text{ kg año}^{-1}$) y en menor grado la venta de animales tales como: terneros, novillas de baja calidad genética y vacas de desecho (29 año^{-1}). Es importante señalar que este sistema no recicla los desechos orgánicos acumulados en los ordeños y utiliza altas dosis de fertilizante nitrogenado en las pasturas, equivalente a los $334 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por lo tanto reúne cualidades para provocar impactos negativos al ambiente (suelo, agua y aire) (Figura 9).

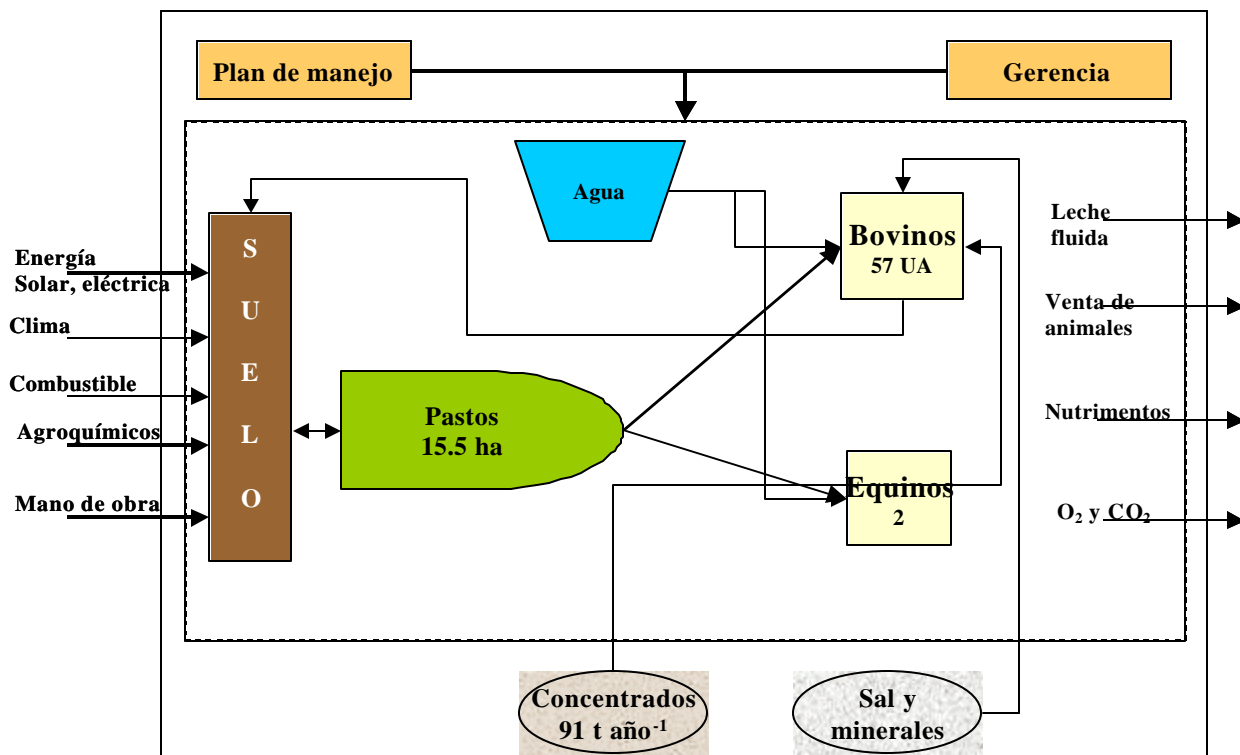


Figura 9. Diagrama con las entradas, componentes, interacciones y productos generados en una finca tradicional, San José, Costa Rica, 2001.

3.3. Producción y manejo del estiércol en una finca con enfoque ecológico

3.3.1. Producción de estiércol bovino

La producción media por día de estiércol fresco a nivel de finca y por UA fue de 240.35 ± 30.50 y 16.49 ± 1.32 kg respectivamente (Cuadro 14). Esto equivale a una producción de $86.5 \text{ t finca}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y a $5.9 \text{ t UA}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Cuadro 14. Producción de estiércol fresco durante 16 horas de confinamiento, en una finca lechera con enfoque ecológico en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

# DE MEDICIÓN	PRODUCCIÓN DE ESTIÉRCOL (kg)	TOTAL UA*	ESTIÉRCOL kg UA ⁻¹
1	200	12.8	15.63
2	236.5	12.8	18.48
3	209	12.8	16.33
4	220.25	15	14.68
5	234.7	15	15.65
6	275.25	15	18.35
7	277.12	16.7	16.59
8	270	16.7	16.17
PROMEDIO	240.35±30.50	14.60±1.65	16.49±1.32

* Unidades animales existentes en la finca en cada medición

1 UA=400 kg de peso vivo

El consumo promedio de agua bajo este modelo de producción fue de 0.81 m³ día⁻¹, utilizada para el lavado de las instalaciones, después de recogido el estiércol. Mientras que la finca tradicional (no recicla desechos orgánicos) consumió 5.07 m³ día⁻¹ (Cuadro 15).

Cuadro 15. Consumo de agua en el lavado de los desechos orgánicos en las fincas lecheras ecológica y tradicional, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

VARIABLES	MODELOS DE FINCA	
	ECOLÓGICA	TRADICIONAL
Consumo de agua en finca (m ³ día ⁻¹)	0.81	5.07
Consumo de agua en finca (m ³ año ⁻¹)	291.3	1825.2
Consumo de agua por UA (m ³ año ⁻¹)	19.40	32.0

3.3.2. Producción de lombricompost

Después de 90 días del proceso de lombricompostaje, la eficiencia de conversión promedio fue de 37.69% (Cuadro 16).

Cuadro 16. Eficiencia de conversión (EC) de estiércol fresco a lombricompost después de 90 días de exposición al proceso de lombricompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). San José, Costa rica, 2001.

# DE PILA	ESTIÉRCOL FRESCO (kg)	PRODUCCIÓN DE LOMBRICOMPOST (kg)	EC (%)
1	455	175	38.46
2	455	168	36.92
Promedio	455	171.5	37.69

3.3.3. Calidad del lombricompost

El lombricompost presentó los parámetros de calidad siguientes: 58.1% de humedad, 7.85 de pH, 1.25% de N, 69 mg kg⁻¹ de P, 20.1 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de K, 13.55 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de Ca, 17.84 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ de Mg.

3.4. Análisis financiero

La finca con enfoque ecológico presentó indicadores financieros positivos: 1.18 y 170,094.70 Colones para los indicadores relación B/C e Ingreso Neto ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo estos son menores en comparación a los indicadores de la finca tradicional, equivalente a 1.64 y 354,614 Colones, respectivamente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Resumen del análisis financiero (en Colones CR) en una finca con enfoque ecológico y una finca tradicional en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

DESCRIPCIÓN FINANCIERA	TIPO DE FINCA LECHERA	
	Ecológica	Tradicional
<i>Ventas</i>		
Leche fluida		13,770,000
Derivados de la leche	5,337,600	
Ecoturismo	318,000	
Lombricompost (abono orgánico)	540,021.60	
Cerdos	1,330,000	
Vacas de desecho	170,000	680,000
Terneros	0	126,000
Ingresos Totales	7,695,621.6	14,576,000
<i>Costos Variables</i>		
Mano de obra	2,544,012	1,728,000
Concentrado bovinos	1,064,520	4,932,064.48
Concentrado cerdos	1,176,000	
Compra de cerdos	400,000	
Desparasitantes	0	67,365
Vacunas	0	25,000
Sales minerales	30,000	0
Sal común	27,391.30	50,400
Fertilizantes químicos	0	331,095.65
Herbicidas	0	3,600
Energía eléctrica	355,854.24	480,285
Gas propano para pasteurizadora	144,000	0
Combustible	264,000	410,400
Consumo de agua	39,949.2	250,052.4
<i>Costos Fijos</i>		
Mantenimiento de construcciones y equipo	64,472	200,000
Depreciación de lombricarios	50,000	0
Depreciación maquina tamizadora de lombricompost	25,000	0
Depreciación Instalaciones de cerdos	10,000	0
Gastos generales	309,759.94	42,391,314
Costos Totales	6,504,958.68	8,902,176
<i>Indicadores financieros</i>		
Ingreso Neto (Colones)	1,190,662.92	5,673,824.01
Relación Beneficio / Costo	1.18	1.64
Ingreso Neto ha⁻¹	170,094.70	354,614

** El costo asumido para el agua fue el establecido para uso domiciliario para la zona por Acueductos y Alcantarillados, equivalente a 137 Colones por m³. Tasa de cambio 338 Colones =1\$

4. Discusión

4.1. Producción y calidad del estiércol en una finca lechera con enfoque ecológico

El potencial de producción de estiércol de las fincas lecheras refleja la capacidad de contaminación que en determinado momento pudiera provocar, principalmente a nivel de aguas superficiales (ríos, quebradas, lagos y lagunas). Sin embargo el impacto negativo se podría minimizar y al mismo tiempo reducir las pérdidas de nutrientes del sistema si, los desechos orgánicos son sometidos a algún tratamiento de reciclaje, como el lombricompostaje a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Para el caso de la finca en estudio la producción anual en el área de confinamiento sería de 86.5 t de estiércol fresco, los cuales se traducen a 13.60 t de materia seca de lombricompost. Bajo estas condiciones la finca retendría 170 kg de nitrógeno, 938 kg de fósforo, 107 kg de potasio, 37 kg de calcio y 29 kg de magnesio. Con respecto a la calidad de los abonos orgánicos, muchos estudios revelan que depende de la calidad de las materias primas utilizadas como substratos. En un estudio dirigido por Rodríguez y Pineda (1998), encontraron que los substratos de vacaza y pulpa de café fueron los más sobresalientes en calidad, en comparación a la gallinaza, porquerinaza, hojarasca y pseudotallo. Sin embargo estos autores reportan en vacaza, concentraciones menores para los minerales potasio y magnesio en comparación a los encontrados en la finca lechera con enfoque ecológico, donde la dieta de los animales incluye pasto estrella y morera.

Así mismo es importante agregar que el modelo de producción de la finca ecológica con la tecnología de reciclaje de desechos orgánicos por medio del lombricompostaje, reduce los consumos de agua utilizada para el lavado de las instalaciones después de cada ordeño en comparación a los sistemas tradicionales que utilizan una mayor cantidad de agua. Para el caso en estudio la finca ecológica consumiría por año 19.40 m³ UA⁻¹ en comparación a los 32 m³ UA⁻¹ de la finca tradicional, con el agregado que esta última únicamente mantiene confinados los animales durante los ordeños, alrededor de 4 horas por día. Esta situación refleja que la alternativa de reciclaje presenta ventajas en situaciones donde el agua es un factor limitante o representa una competencia en la disponibilidad para consumo humano. Otro punto importante del uso del lombricompostaje es que permite reducir el uso de fertilizantes químicos en el

sistema, lo cual contribuye de manera especial a mitigar el impacto negativo del nitrógeno al ambiente (aire, agua y suelo).

4.2. Análisis financiero

La finca con enfoque ecológico presentó beneficios financieros positivos, los cuales fueron menores en comparación a los obtenidos por la finca tradicional. Este comportamiento se podría atribuir a las razones siguientes: inversiones iniciales en el modelo de finca ecológica a causa de la diversificación de actividades, especialmente en construcciones, instalaciones, equipo y mano de obra, reflejarán sus mayores beneficios a largo plazo. El análisis financiero no consideró el valor de los beneficios ambientales incrementales (secuestro de carbono por el sistema silvopastoril de morera y reciclaje de desechos orgánicos), los cuales podrían explicar las diferencias en los indicadores. Otro punto importante es que el modelo de finca con enfoque ecológico no ha alcanzado el máximo uso de su capacidad instalada. En términos generales estos factores podrían mejorar los beneficios del modelo de la finca ecológica. Los modelos de producción orgánica, en la mayoría de los casos, sus productos no reciben un valor agregado que compense los bajos rendimientos asociados al uso racional y sostenible de los recursos naturales y un menor consumo de insumos externos en comparación a los sistemas tradicionales.

Algunos estudios anteriores en la finca con enfoque ecológico, cuando dependió de mayor cantidad de insumos externos y como única actividad económica la producción de leche fluida, presentó una rentabilidad menor a la del presente estudio, equivalente al 11.18% (Nájera 1999). Ello refleja que en algunas fincas la diversificación, además de generar cambios financieros positivos, comprende una alternativa para ofrecer servicios ambientales.

Así mismo es pertinente señalar que las fincas tradicionales están más expuestas a ser menos estables en términos financieros a mediano plazo. Es notable que estas fincas dependen cada vez de una mayor cantidad de insumos externos para poder activar el sistema de producción, situación que combinada con los precios del mercado poco atractivos para los productos convencionales generados, las sitúa en la línea crítica de la rentabilidad. Este panorama ha

provocado una reducción de los hatos bovinos en América Central en la última década (Pérez 2000).

4.3. Aplicación del estudio

Los modelos de producción animal con enfoque ambiental, están vinculados con el uso de tecnologías silvopastoriles, reciclaje o tratamiento de desechos orgánicos y un escaso o nulo uso de insumos externos. Bajo este esquema, esta alternativa de producción podría generar bienes o servicios con un valor agregado superior a los procedentes de sistemas tradicionales; lo cual cada día está alcanzando cierta garantía y expansión a nivel de mercados locales e internacionales. Así mismo, este modelo de producción demuestra estar asociado con indicadores financieros positivos, uso racional de los recursos naturales y generar un menor impacto negativo al suelo, agua, aire y biodiversidad.

Bajo un enfoque de manejo integral de cuencas, estos modelos de producción, especialmente en fincas cercanas a las corrientes de agua pueden ser considerados por organizaciones ambientalistas y/o municipalidades a través de estrategias como incentivos o impuestos para reducir la contaminación de las fuentes de agua.

5. Conclusiones

El uso de lombricompostaje por medio de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) constituye una alternativa promisoriosa en el reciclaje de desechos orgánicos, derivados de los sistemas de producción de leche bajo confinamiento parcial o total. Reflejándose en la reducción de pérdidas de nutrientes del sistema, siempre y cuando el uso del abono sea dentro de la finca; menor consumo de agua para el lavado de las instalaciones y de manera indirecta propicia un menor uso de fuentes químicas de nitrógeno.

La finca tradicional presentó beneficios financieros superiores a la finca con enfoque ecológico, con respecto a los indicadores relación Beneficio/Costo e Ingreso Neto ha^{-1} . No obstante, esta última finca además de presentar indicadores positivos, contribuye con menores impactos negativos al suelo, agua y aire.

6. Recomendaciones

Es importante continuar evaluando y promoviendo el manejo y aprovechamiento de desechos orgánicos por medio del lombricompostaje, como una opción para reducir la contaminación ambiental, especialmente corrientes de agua a nivel de cuencas hidrográficas.

Es necesario realizar investigaciones para conocer con mayor detalle el impacto de la fertilización orgánica con lombricompost, sobre las propiedades físicas, químicas y de producción de pasto de suelos utilizados en ganadería.

Realizar por largos períodos de tiempo evaluaciones bioeconómicas, internalizando las externalidades, en fincas ganaderas que utilizan menor cantidad de insumos externos, que presentan enfoque silvopastoril y que reciclen los desechos orgánicos. Con el afán de generar información que permita conocer y comparar la sostenibilidad de esta alternativa de producción orgánica contra sistemas tradicionales.

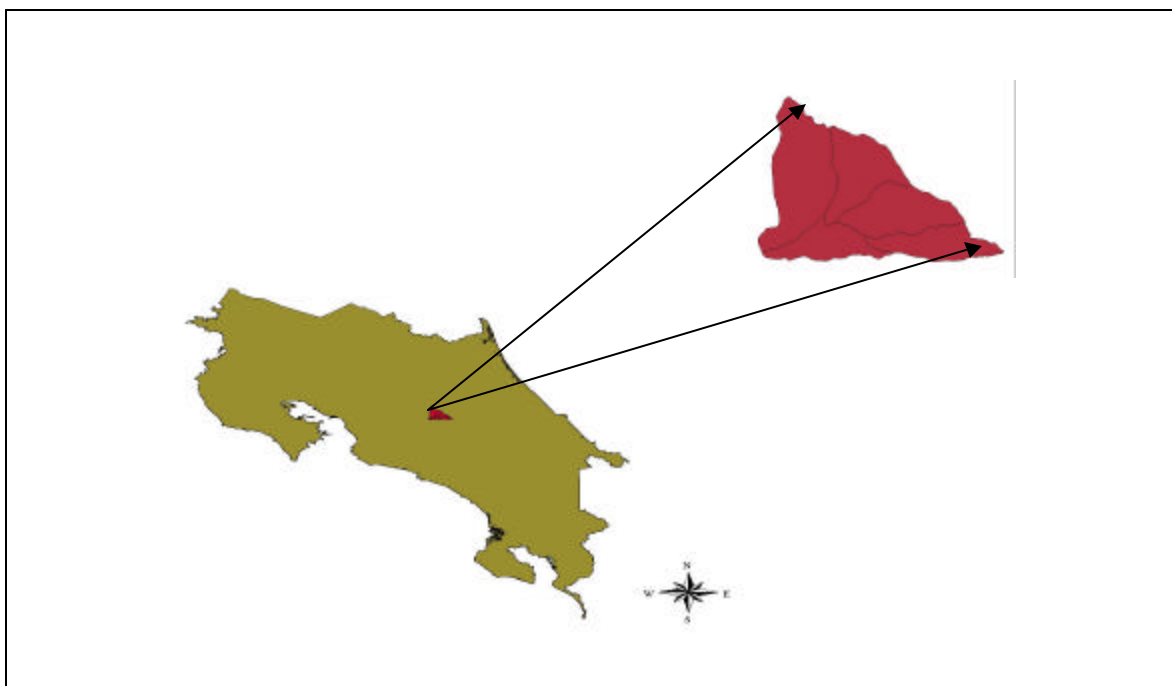
A nivel institucional es importante promover modelos de producción ganadera con enfoque ecológico, siendo trascendental la gestión organizativa y legal (certificación) para que los productos procedentes de estos sistemas adquieran un valor agregado, considerando que son producidos en un ambiente de mayor armonía con los recursos naturales en comparación a los sistemas tradicionales.

7. Bibliografía

- Gittinger, JP. 1989. Análisis económico de proyectos agrícolas. 2 ed. Madrid, Tecnos. 532 p.
- Guerra, G. 1998. Manual de administración de empresas agropecuarias. 2 ed. San José, CR, IICA. 580 p. (Serie de libros y materiales educativos no. 30)
- Nájera, M. 1999. Caracterización técnica, financiera y nutricional de fincas lecheras en el cantón de coronado. Informe final de práctica Lic. Administración de Empresas Agropecuarias, San José, CR, UNED. 139 p.
- Pérez, E. 2000. La situación de la ganadería en Centroamérica. *In* intensificación de la ganadería en Centroamérica. Eds. C Pomareda; H Steinfeld., San José, CR. Nuestra tierra. 39-53 p.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. *In* 1er. Foro internacional sobre "Pastoreo intensivo en zonas tropicales" (1996, Veracruz, MX). Morelia, MX. Banco de México. 39 p.
- Rodríguez, A; Pineda, CR. 1997. Producción y calidad de abono producido por medio de *Eisenia foetida* (Lombriz roja californiana), su capacidad reproductiva en tres densidades y seis substratos. *In* Simposio Latinoamericano de caficultura (18, 1997, San José, CR). Ed J Echeverri; O Mora; L Zamora. San José, CR, IICA. p. 109-113.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 10(3):241-252.
- Somarriba, E. 1985. Árboles de guayaba (*Psidium guajava*) en pastizales. I. Producción de fruta y potencial de dispersión de semillas. *Turrialba* 35(3):289-295.
- Somarriba, E; Beer, J. 1985. Árboles de guayaba (*Psidium guajava*) en pastizales. III. Producción de leña. *Turrialba* 35(4):333-338.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on the agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19(3):233-240.
- Spain JM; Gualdrón, R. 1997. Degradación y rehabilitación de pasturas. *In* Reunión del comité asesor de la RIEPT (IV, 1988, Veracruz, MX). Establecimiento y renovación de pasturas. Eds. CE Lascano; JM Spain. Cali, CO, CIAT. p 269-283.
- Tiedemann, AR; Higgins, DA; Quigley, TM; Sanderson, HR; Marx, DB. 1987. Responses of fecal coliform in streamwater to four grazing strategies. *Journal of range management* 40(4):332-329.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio, cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.



Anexo 2. Formato de encuesta

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE) / PLAMA VIRILLA

Señor (a) propietario (a) de la finca:

El propósito de esta encuesta es para conocer en que grado los factores técnicos, biofísicos y socioeconómicos influyen en las prácticas silvopastoriles en las fincas ganaderas en la cuenca alta del río Virilla. Este instrumento se aplicará a los ganaderos y la información recolectada será estrictamente confidencial y se utilizará exclusivamente para fines académicos y de investigación.

Encuesta No. _____ Nombre de la finca _____
 Fecha _____ Distrito _____ Cantón _____
 Provincia _____
 Dirección _____
 Ubicación geográfica _____ Altitud _____ msnm

Nombre del encuestador _____

1. INFORMACIÓN DEL PROPIETARIO

1.1 Nombre del propietario _____

1.2 Nacionalidad _____

1.3 Edad _____

1.4 Nivel educativo:

a. Ninguno _____ b. Primaria _____ c. Secundaria _____ d. técnico _____ e. Universidad _____
 f. Otros _____

1.5 Ha participado en cursos de capacitación como congresos, seminarios, talleres, etc
 SI _____ NO _____ si es SI en cuales:

- a. Ganadería
- b. Sistemas silvopastoriles
- c. Plantaciones forestales
- d. Servicios ambientales
- e. Otros

1.6 Vive usted en la finca? SI _____ NO _____

En caso de que el informante sea distinto del propietario:

1.7 Nombre del informante _____

1.8 Cargo del informante _____

1.9 Años de experiencia en la finca _____

1.10 Quien toma las decisiones de cambio en la finca _____

2. LA FAMILIA

2.1 Composición y mano de obra familiar (en caso de entrevistar al propietario)

MIEMBRO	EDAD	SEXO	OCUPACIÓN	#MTFF

#MTFF: NUMERO DE MESES QUE TRABAJA FUERA DE LA FINCA

3. INFORMACIÓN DE LA FINCA

3.1Cuál es la principal fuente de ingresos para el finquero (en caso de entrevistar al propietario) consignar las diferentes actividades que reportan ingresos, tales como la finca, comercio, empleo externo, etc. Asignar el número 1 (UNO) a la actividad más importante, el 2 (DOS) a la siguiente y así sucesivamente.

ACTIVIDAD ECONOMICA	IMPORTANCIA
	1
	2
	3
	4
	5

3.2 Tiene título de propiedad de la tierra?. Si?_____No?_____ Si la respuesta es “No”, que tipo de tenencia tiene_____

3.3 Adquisición de la finca:

- a. Herencia
- b. Compra
- c. Otra

3.4 Posee otras fincas en la zona de estudio (Coronado, Moravia, Goicoechea; San Isidro y Santo Domingo de Heredia) Si?_____No?_____

3.5Cuál es el ingreso estimado mensual de la finca (en colones)

- a. 1 – 3 millones
- b. 4 – 6 millones
- c. > 7 millones

3.6 Mano de obra utilizada en la finca.

- a. Familiar
- b. Contratada nacional
- c. Contratada extranjera

3.7 Existe disponibilidad de mano de obra contratada SI_____NO_____ ocasional_____

4.2 Usos de la tierra en los últimos cinco (5) años

Área total de la finca-----

	Pastos	Bosques	Plantaciones Forestales	Cultivos perennes ¹	Cultivos anuales ²	Charrales o tacotales	Otros	TOTAL
Área para cada uso del suelo								
Principal fuente de ingresos a la finca (en orden de importancia)								
Cual es la pendiente del terreno *								

* categorías de pendiente

1 plano o casi plano (0 – 6%)

2 pendiente suave (6-20%)

3 pendiente mediana (20-35%)

4 pendiente fuerte (35-50%)

5 escarpado (> 50%)

¹ café, frutales² maíz, fríjol, hortalizas**5. COMPONENTE ANIMAL**

5.1 Tipo de explotación _____

5.2 Edad de la explotación _____

5.3 Genética animal (raza –s) _____

5.4 La finca posee registros de producción y reproducción del hato bovino

5.5 Inventario del hato (promedio / mes)

Vacas en producción _____

Terberos _____

Vacas secas _____

Toros _____

Novillas _____

Terberos _____

5.6 Número de ordeños _____ Horario _____

5.7 Producción promedio de leche /día en la finca

a. época de alta producción _____

b. época de baja producción _____

5.8 Destino de la leche

a. Procesamiento de la leche en la finca

b. Entrega a DOS PINOS

c. Otro destino

5.9 Precio actual / Kg de leche en finca _____ Criterio usado para el precio _____

6. COMPONENTE PASTO

6.1 Edad de la pastura _____

6.2 Con que frecuencia renueva las pasturas

6.3 Qué tipo de pastos tiene y su respectiva área:

Pasto	Área (ha)
Natural	
Estrella	
Kikuyu	
King grass o elefante	
Árboles + pastos	
Otros	

6.4 Monitorea atributos de producción y calidad del pasto

	Producción MS	PC	DIVMS	Minerales
Monitoreo				
Frecuencia				

MS: materia seca; PC: proteína cruda; DIVMS: digestibilidad in vitro de la materia seca

6.5 Plan de manejo de los pastos / ha

Actividad	Frecuencia	Insumo	Unidad	Cantidad	Precio *	COSTO
Control de malezas						
Manual						
Mecánico						
Químico						
Fertilización						

* en colones CR

6.6 Carga Animal

Categoría	# animales	No. de apartos	Área prom c/u (m ²)	Área de apartos	UA/ha	PD ¹	PO ¹
Vacas en producción							
Vacas secas							
Novillas							
Terneritas							

¹ PD= período de descanso (días)

¹ PO= período de ocupación (días)

6.7 Que criterio utiliza para definir la carga animal a utilizar?

6.8 Que otro (s) recurso (s) alimenticio (s) utiliza además del pasto (producto del pastoreo) para alimentar los animales.

Alimento	Categoría animal	Número de animales	Kg/animal/día	No. De meses	Precio/kg

6.9 Meses de escasez de pasto E F M A M J J A S O N D

6.10 Meses de abundancia pasto E F M A M J J A S O N D

6.11 Que criterios utiliza para calificar como degrada (poco productiva, deteriorada) a una pastura?

7. COMPONENTE ARBOREO

7.1 Cual es la distribución espacial del componente arbóreo o arbustivo en la finca

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| a. banco forrajero | g. Cortinas rompevientos |
| b. cercas vivas | h. Árboles maderables en linderos |
| c. barreras vivas | i. Plantaciones de frutales |
| d. Árboles en callejones | j. Frutales dispersos en potreros |
| e. Árboles dispersos en potreros | k. Plantaciones comerciales |
| f. árboles en callejones | l. Bosques |
| | m. Otro |

7.2 Que especies de árboles predominan en las distribuciones espaciales señaladas y que opina de ellas ??

7.3 Desde hace cuanto ha tenido los árboles de esa manera? _____

7.4 Fue iniciativa propia mantener los árboles. Si _____ No? _____ De quién? _____

7.5 Cuantos árboles establece por ha o por kilómetro lineal en las diferentes opciones

Opción	Densidad inicial	Densidad final	Cantidad (Km. o ha)

7.6 Procedencia de los árboles

- regeneración natural
- establecimiento

7.7 Si posee banco forrajero (banco de proteína)

- a. Área _____
- b. Densidad de siembra _____
- c. Especie _____
- d. Frecuencia de corte _____
- e. En que época del año lo utiliza _____
- f. Que opina de esta alternativa de alimentación animal y de la ESPECIE EN USO

7.8 Que beneficios representa para un finquero la existencia de árboles en la finca?

7.9 Que limitaciones o problemas representan los árboles dentro de las pasturas?

7.10 Que comportamiento ha observado o medido del pasto bajo los árboles

7.11 Pretende utilizar en el futuro el área reforestada para pastoreo del ganado? SI _____
NO _____ si es SI a que edad y que consideraciones tomará en cuenta en este nuevo sistema?

7.12 Que problemas ha observado en el establecimiento de lo árboles

- Espacio _____
- Conocimiento _____
- Suelos compactados _____
- No se adapta la especie _____
- Recursos económicos _____
- Plagas y/o enfermedades _____

7.13 Cual es el rendimiento y precio de los productos de los árboles

Producto	Rend/ha m ³	Rend/Km lineal m ³	Precio (colones)
Madera			
Leña			
Venta de Árboles			

7.14 Costos de manejo /ha/año o por Km lineal / año de las opciones citadas en el punto 7.1 existentes en la finca

Opción	Frecuencia	Insumo	Unidades	Cantidad*	Precio	Costo

* colones CR

Anexo 3. Especies que conforman la cobertura arbórea y arbustiva en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

Nombre común	Nombre científico	Clasificación por uso	Frecuencia	Distribución espacial
Poró	<i>Erythrina</i> spp.	NM	677	adep, cv
Jaúl	<i>Alnus acuminata</i>	M	204	adep, cv
Higuito	<i>Ficus sapida</i>	NM	89	adep, cv
Dama	<i>Citharexylum donnel-smithii</i>	NM	76	adep, cv
Ratoncillo	<i>Myrsine coriacea</i>	M	63	adep, cv
Cipres	<i>Cupressus lusitanica</i>	M	47	cv, adep
Plomillo	<i>Cariocar costarricense</i>	M	42	adep, cv
Yos	<i>Sapium</i> spp.	NM	25	adep, cv
Huitite	<i>Acnistus arborescens</i>	NM	15	adep, cv
Targua	<i>Crotón draco</i>	NM	15	adep, cv
Higueron	<i>Ficus insipida</i>	M	14	adep, cv
Quizarra	<i>Nectandra cufodontissi</i>	M	11	adep
Tuete	<i>Vernonia patens</i>	NM	9	adep, cv
Cedro	<i>Cedrella tonduzzi</i>	M	7	adep, cv
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	NM	7	adep, cv
Cachon	<i>Oreopanax xalapensis</i>	NM	5	adep
Manzana rosa	<i>Syzygium jambos</i>	NM	4	adep, cv
Espino blanco	<i>Macrohasseltia macroterantha</i>	M	3	adep
Lengua de vaca	<i>Conostegia xalapensis</i>	NM	3	adep, cv
Aguacatillo	<i>Ocotea valeriana</i>	M	2	adep, cv
Anona	<i>Anona reticulata</i>	NM	2	cv
Guaba	<i>Inga</i> sp.	NM	2	adep
Ira rosa	<i>Ocotea austinnii</i>	M	2	adep
Lorito	<i>Prumnopitys standleyi</i>	M	2	adep
Lloro	<i>Crnus disciflora</i>	M	2	adep
Caragra	<i>Lippia</i> sp.	NM	1	cv
Yas	<i>Persea schiedeana</i>	M	1	adep
Aguacate	<i>Persea americana</i>	NM	1	cv
Canilla de mula	<i>Licania arborea</i>	M	1	adep
Clusia	<i>Clusia</i> sp.	NM	1	adep
Eucalypto	<i>Eucalyptus deglupta</i>	M	1	cv
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	NM	1	adep
Manteco	<i>Perrottetia longistylis</i>	NM	1	adep
Reyna de noche	<i>Brugmansia</i> sp	NM	1	adep

M= maderables NM= no maderables

adep= árboles dispersos en potreros; cv= cercas vivas

Anexo 4. Salida de SAS sobre Análisis de conglomerados (cluster), discriminante canónico (stepdisc).

```

The SAS System
The CLUSTER Procedure
Ward's Minimum Variance Cluster Analysis
Eigenvalues of the Covariance Matrix
Eigenvalue    Difference    Proportion    Cumulative
1      551734844    523631567     0.9497        0.9497
2      28103276     27335319      0.0484        0.9981
3       767957     416663        0.0013        0.9994
4       351294     341099        0.0006        1.0000
5        10195      8947          0.0000        1.0000
6         1248       430          0.0000        1.0000
7          818       791          0.0000        1.0000
8           27        11          0.0000        1.0000
9           16        13          0.0000        1.0000
10          3         1          0.0000        1.0000
11          2         2          0.0000        1.0000
12          1         1          0.0000        1.0000
13          0         0          0.0000        1.0000
14          0         0          0.0000        1.0000

Root-Mean-Square Total-Sample Standard Deviation = 6441.881
Root-Mean-Square Distance Between Observations   = 34087.23
    
```

```

The SAS System
The CLUSTER Procedure
Ward's Minimum Variance Cluster Analysis
Cluster History
NCL  -----Clusters Joined-----    FREQ    SPRSQ    RSQ    PSF    PST2    T
6  CL11          CL7                    15  0.0168  .937  86.1  10.2
5  CL12          CL7                    8  0.0179  .919  85.1  19.4
4  CL9           CL8                    9  0.0241  .895  88.0  12.1
3  CL4           CL6                    24 0.1145  .780  56.9  33.1
2  CL3           CL5                    32 0.2527  .528  36.9  35.4
1  CL2           CL10                   35 0.5277  .000  .    36.9
    
```

```

The SAS System
The FREQ Procedure
CLUSTER    Frequency    Percent    Cumulative    Cumulative
           ffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffff
           ffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffff
           ffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffff
           ffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffff
           ffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffffff
1           9          25.71          9          25.71
2          15          42.86          24          68.57
3           8          22.86          32          91.43
4           3           8.57          35          100.00
    
```

```

The SAS System
The STEPDISC Procedure
The Method for Selecting Variables is STEPWISE
Observations      35      Variable(s) in the Analysis      14
Class Levels      4      Variable(s) will be Included      0
                Significance Level to Enter      0.15
                Significance Level to Stay      0.15
    
```


Class Level Information

CLUSTER	Variable Name	Frequency	Weight	Proportion
1	_1	9	9.0000	0.257143
2	_2	15	15.0000	0.428571
3	_3	8	8.0000	0.228571
4	_4	3	3.0000	0.085714

The SAS System
The STEPDISC Procedure
Stepwise Selection: Step 1

52

Statistics for Entry, DF = 3, 31

Variable	R-Square	F Value	Pr > F	Tolerance
JORHAM	0.0430	0.46	0.7096	1.0000
SALARY	0.0256	0.27	0.8452	1.0000
TOTAAREA	0.3227	4.92	0.0065	1.0000
BOSQUE	0.2911	4.24	0.0127	1.0000
AREAFOR	0.2439	3.33	0.0320	1.0000
CULTIVOS	0.0280	0.30	0.8267	1.0000
AREGA	0.2587	3.61	0.0241	1.0000
VAPROD	0.1537	1.88	0.1541	1.0000
HATO	0.1359	1.62	0.2037	1.0000
FOODIA	0.1143	1.33	0.2814	1.0000
LECHFDIA	0.1468	1.78	0.1719	1.0000
PRODUCTI	0.2026	2.63	0.0680	1.0000
CA	0.1325	1.58	0.2144	1.0000
FERTILI	0.0777	0.87	0.4671	1.0000

Variable totaarea will be entered.
Variable(s) that have been Entered

totaarea

Multivariate Statistics

Statistic	Value	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.677285	4.92	3	31	0.0065
Pillai's Trace	0.322715	4.92	3	31	0.0065
Average Squared Canonical Correlation	0.107572				

The SAS System
The STEPDISC Procedure
Stepwise Selection: Step 2

53

Statistics for Removal, DF = 3, 31

Variable	R-Square	F Value	Pr > F
totaarea	0.3227	4.92	0.0065

No variables can be removed.

Statistics for Entry, DF = 3, 30

Variable	Partial R-Square	F Value	Pr > F	Tolerance
JORHAM	0.0554	0.59	0.6284	0.8991
SALARY	0.0216	0.22	0.8809	0.9831
BOSQUE	0.0021	0.02	0.9958	0.1137
AREAFOR	0.0554	0.59	0.6288	0.6355
CULTIVOS	0.0223	0.23	0.8759	0.9759
AREGA	0.0042	0.04	0.9882	0.1522
VAPROD	0.0491	0.52	0.6740	0.3325
HATO	0.0732	0.79	0.5090	0.4250
FOODIA	0.1464	1.72	0.1849	1.0000
LECHFDIA	0.0360	0.37	0.7727	0.3314
PRODUCTI	0.1602	1.91	0.1497	0.8616
CA	0.0803	0.87	0.4661	0.8214
FERTILI	0.0721	0.78	0.5163	0.9884

Variable producti will be entered.
Variable(s) that have been Entered

totaarea producti

Multivariate Statistics

Statistic	Value	F Value	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.568814	3.26	6	60	0.0077
Pillai's Trace	0.481494	3.28	6	62	0.0073
Average Squared Canonical Correlation	0.160498				

The SAS System
The STEPDISC Procedure
Stepwise Selection: Step 3

54

Statistics for Removal, DF = 3, 30

Variable	Partial R-Square	F Value	Pr > F
totaarea	0.2867	4.02	0.0162
producti	0.1602	1.91	0.1497

No variables can be removed.

Statistics for Entry, DF = 3, 29

Variable	Partial R-Square	F Value	Pr > F	Tolerance
borham	0.0764	0.80	0.5043	0.5996
salary	0.0201	0.20	0.8967	0.8526
bosque	0.0026	0.02	0.9946	0.1028
areafor	0.0558	0.57	0.6381	0.5810
cultivos	0.0518	0.53	0.6667	0.8439
arega	0.0051	0.05	0.9850	0.1463
vaprod	0.0535	0.55	0.6544	0.2758
hato	0.0984	1.05	0.3833	0.3671
foodia	0.1367	1.53	0.2275	0.8397
lechfdia	0.0419	0.42	0.7379	0.2552
CA	0.0671	0.70	0.5624	0.2095
fertili	0.0402	0.41	0.7504	0.8102

No variables can be entered.

No further steps are possible.

The SAS System
The STEPDISC Procedure
Stepwise Selection Summary

55

Step	Number In Entered	Removed	Partial R-Square	F Value	Pr > F	Wilks' Lambda	Pr < Lambda
1	1	totaarea	0.3227	4.92	0.0065	0.67728520	0.0065
2	2	producti	0.1602	1.91	0.1497	0.56881359	0.0077

Step	Number In Entered	Removed	Average Squared Canonical Correlation	Pr > ASCC
1	1	totaarea	0.10757160	0.0065
2	2	producti	0.16049790	0.0073

Anexo 5. Análisis de varianza para los grupos de fincas generados en el análisis de conglomerados, San José, Costa Rica, 2001.

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	P > F				
		A ¹	B ²	C ³	D ⁴	E ⁵

Cluster o Grupo	3	0.006	0.013	0.032	0.024	0.068
Error experimental	31					
Total	34					

¹ Tamaño de finca; ² área de bosque; ³ área de plantaciones forestales; ⁴ área de pasturas; ⁵ productividad.

Anexo 6. Análisis de varianza para nitrógeno total en suelos bajo sistemas silvopastoriles y pasturas en monocultivo en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	Pr > F
Edad del jaúl	3	0.0001
Profundidad	1	0.59
Edad * Profundidad	3	0.80
Error experimental	16	
Total	23	

Anexo 7. Análisis de varianza para carbono orgánico en el suelo bajo sistemas silvopastoriles y pasturas en monocultivo en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica, 2001.

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	Pr > F
Edad del jaúl	3	0.89
Profundidad	2	0.03
Edad * Profundidad	6	0.90
Error experimental	24	
Total	35	