

# Evaluación del impacto de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica<sup>1</sup>

Cristóbal Villanueva<sup>2</sup>, Muhammad Ibrahim<sup>3</sup>

**Palabras claves:** Almacenamiento de carbono; densidad aparente del suelo; contenido de nitrógeno; resistencia a la compactación.

**Evaluation of the impact of silvopastoral systems on soil recovery in degraded pastures and on carbon sequestration in high altitude dairy cattle farms in Costa Rica**

## RESUMEN

Fue evaluado el impacto del sistema silvopastoril (SSP) *Alnus acuminata* (jaúl) con *Pennisetum clandestinum* (kikuyú) en la recuperación de suelos de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono. Los sistemas fueron pasturas en monocultivo (PM); pasturas con *Alnus acuminata* de dos años (SSP2); con *A. acuminata* de tres años (SSP3); y con *A. acuminata* de cuatro años (SSP4). La densidad aparente, la resistencia a la penetración y el N total del suelo, además del secuestro de C, fueron mayores en los SSP en comparación con las PM y mejoraron conforme aumentó la edad de los árboles.

## ABSTRACT

The impact of the silvopastoral systems (SPS) *Alnus acuminata* with *Pennisetum clandestinum* on the recovery of degraded pasture soils and its contribution to C sequestration was evaluated. The systems were monoculture pastures (MP); pastures with two year old *A. acuminata* (SPS2); with three year old *A. acuminata* (SPS3); and with four year old *A. acuminata* (SPS4). Bulk density, resistance to penetrometer, total N and soil C were higher in the SPS compared to the MP, and improved with the age of the trees.

## INTRODUCCIÓN

En América Central, muchas laderas se han erosionado a causa del sobrepastoreo (Pezo *et al* 1992) y la consecuente incapacidad de las pasturas de mantener un grado aceptable de cobertura a lo largo del año a causa de un manejo inadecuado; p.ej., alta carga animal, largos periodos de ocupación y cortos periodos 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).

*Alnus acuminata* es una especie leñosa, nativa de las partes altas de Costa Rica (1400 – 3200 msnm). Esta especie, que no es leguminosa, posee la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (40 a 320 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) en simbiosis con el actinomiceto *Frankia alnii* y cuenta con otros atributos benéficos, como establecerse fácilmente en sitios erosionados, colonizar en suelos sueltos, como los originados por derrumbes o la construcción de carreteras

<sup>1</sup> Basado en Villanueva C 2001. Ganadería y beneficios de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. Tesis M Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

<sup>2</sup> M Sc en Agroforestería Tropical, CATIE, Turrialba, Costa Rica. E-mail: cvillanu@catie.ac.cr (autor para correspondencia)

<sup>3</sup> Profesor Investigador, CATIE. E-mail: mibrahim@catie.ac.cr

(Russo 1990). Estas cualidades la convierten en una especie apropiada para la regeneración de suelos degradados.

El propósito del presente estudio fue conocer la influencia del sistema silvopastoril *A. acuminata* con *P. clandestinum* sobre la densidad aparente, resistencia a la penetración del suelo y N total en suelos con uso tradicional en actividades ganaderas; así como también, determinar la capacidad de secuestro de C del sistema abajo del suelo y en el volumen total de madera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica: 9°57'30" a 10°05'00" N y 83°54' 00" a 84°05'00" O; precipitación anual entre 2000 y 3400 mm; altitud entre 1500 y 2500 msnm; temperatura entre 16 y 18 °C; y humedad relativa entre 83 y 88%.

De la base de datos del proyecto Plan de Mejoramiento Ambiental de la cuenca alta del río Virilla (PLAMA VIRILLA) fueron seleccionadas las edades de plantaciones de *A. acuminata* de dos (SSP2), tres (SSP3) y cuatro años (SSP4), en pasturas de *P. clandestinum*, considerando 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 promedios para cada una de las edades fue de 711, 889 y 667 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente; derivadas de una densidad inicial de 1111 árboles ha<sup>-1</sup>. Así mismo se eligieron tres fincas al azar para conformar el grupo de parcelas con pasturas en monocultivo (testigo). Éstas 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 *A. acuminata* están sujetas a pastoreo por terneras de lechería (menores de 12 meses de edad), con una carga animal promedio de 0,75 unidades animales (UA) ha<sup>-1</sup>. Dicha situación reduce daños físicos a los árboles y la compactación al suelo. Las pasturas en monocultivo utilizan una carga animal promedio de 2,63 UA ha<sup>-1</sup>. Esta última carga animal fue la vigente en las pasturas arboladas antes de destinarla a la siembra de *A. acuminata*. Por lo tanto, los resultados obtenidos son el reflejo de la presencia de árboles y/o carga animal.

Con respecto a la ubicación y tamaño de las parcelas, se encontró que las pasturas arboladas con *A. acuminata* presentaron áreas entre 5 y 10 ha. Por lo tanto, fue elegida una parcela de 2 ha en el sector donde se identifi-

có 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. Igualmente en las fincas con pasturas en monocultivo, el área elegida (2 ha) fue con base a criterios de pasturas degradadas y suelos erosionados, características que predominaron en los suelos reforestados. Los finqueros señalaron que estas conforman las principales áreas destinadas al establecimiento de *A. acuminata* en conjunto con el PLAMA VIRILLA.

La densidad aparente (DA) y la resistencia a la penetración (RP) se determinaron en la capa superficial del suelo (0-20 cm) en tres puntos seleccionados al azar dentro de la parcela. Para cada parámetro fue tomada una muestra por punto a nivel del tercio medio del perfil de muestreo. La DA (g cm<sup>-3</sup>) se determinó por el método del cilindro de volumen conocido. En el caso de la RP (kg m<sup>-2</sup>) fue utilizado el penetrómetro manual de bolsillo, realizando dicha medición en una calicata de 20 x 20 cm preparada con el cuidado de no compactar el punto de muestreo. Así mismo, se determinó la pendiente (%) y altitud (msnm) de la parcela de muestreo por medio del hipsómetro Suunto y un altímetro de reloj, respectivamente. El N total en el suelo (NT) se determinó a nivel de dos profundidades (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 (Henríquez *et al* 1995). La determinación del porcentaje de N fue por el método del semi micro Kjeldahl.

El C almacenado en el sistema se estimó del C orgánico en el suelo (COS) y el C en el volumen total de madera de *A. acuminata* (CVOLTM). El COS se determinó en tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) por medio del método Walkley y Black. Para este propósito se utilizaron las mismas muestras consideradas para la determinación de NT más la inclusión del estrato 40-60 cm de profundidad. Para el cálculo del COS se utilizó la fórmula siguiente:

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

Donde:

COS= C almacenado (t C ha<sup>-1</sup>).

A= unidad de superficie (m<sup>2</sup>).

P= profundidad (m).

DA= densidad aparente del suelo (t m<sup>-3</sup>).

C= % de C orgánico en el suelo.

El C almacenado ( $t\ ha^{-1}$ ) y fijado ( $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ) en el volumen total de madera del tallo de *A. acuminata* (no incluye ramas y raíces) 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 (hT), peso específico (PE) y la fracción de C. Para la obtención de las variables dap y hT, 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 *A. acuminata*. 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 C, dado a que no se dispone del dato específico de *A. acuminata* se utilizó el valor de 0,50 (Brown y Lugo 1984). Al programa MIRASILV también se ingresó la ecuación de regresión, para la estimación del volumen total de madera del tallo con corteza (VOLTM) a partir del dap y hT 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). Finalmente el C total almacenado en el sistema se calculó con la fórmula siguiente:

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

Donde:

CTA = Carbono total almacenado.

COS = Carbono orgánico almacenado en el suelo.

CVOLTM = Carbono almacenado en los tallos de *A. acuminata*.

Las variables DA, RP, NT, COS y CVOLTM fueron analizadas mediante un análisis univariado (media y desviación estándar). Para conocer el grado de relación entre DA y RP se realizó un análisis de correlación. Así mismo se realizó un análisis de regresión lineal múltiple para los grupos de variables siguientes:

- DA del suelo vs. edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y materia orgánica (MO) del suelo.
- RP vs. edad de *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y MO del suelo.
- NT en el suelo vs. edad del *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y MO del suelo.
- COS vs. edad de *A. acuminata*, % de pendiente, altitud y NT.

Las variables NT y COS fueron analizadas a través de un diseño completamente al azar en arreglo factorial, en

el cual el primer factor fue la edad de los árboles de *A. acuminata* en pasturas y el segundo factor correspondió a los niveles de profundidad. En ambos casos se utilizaron tres repeticiones (fincas)



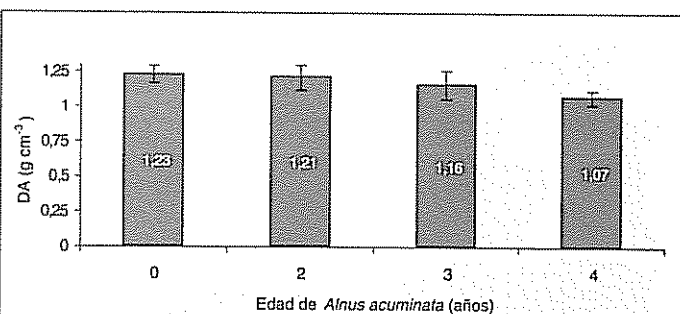
*Alnus acuminata* en la modalidad silvopastoril de árboles dispersos en potreros, en fincas lecheras de la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. Foto: Cristóbal Villanueva

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Densidad aparente y resistencia a la penetración del suelo

La DA mostró una tendencia decreciente conforme aumenta la edad de los árboles de *A. acuminata* en las pasturas, correspondiendo el valor más alto a las pasturas en monocultivo (Figura 1). El análisis de regresión lineal múltiple detectó influencia significativa ( $p < 0,01$ )

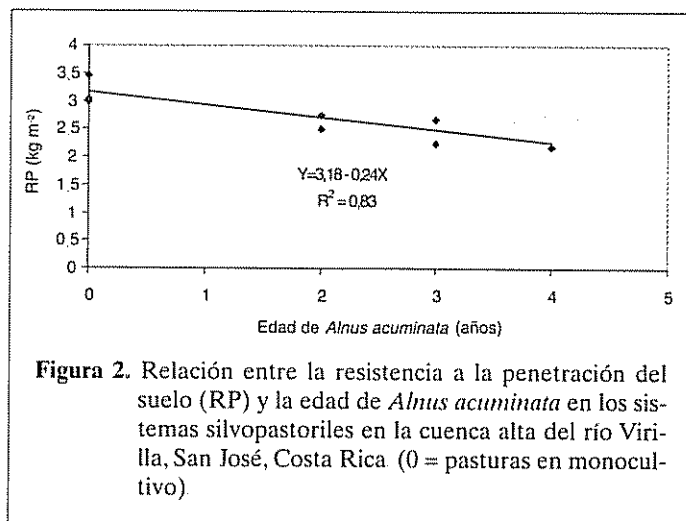
de las variables edad ( $X_1$ , años) y MO ( $X_2$ , %) en la explicación parcial de la variabilidad de la DA ( $Y$ ,  $g\ cm^{-3}$ ) por medio del modelo  $Y = 1,41 - 0,02X_1 - 0,04X_2$ ;  $R^2=0,74$ . Ello se atribuye a los aumentos de MO que ocurren en suelos cubiertos con pasturas y árboles, lo cual podría ser resultado de una mayor actividad en el crecimiento y descomposición de raíces del pasto y de los árboles. Esta situación puede provocar un incremento del espacio poroso del suelo y por ende, mejor intercambio de líquidos y gases (Arévalo *et al* 1998). Así mismo es oportuno señalar que dicho efecto está concatenado al aporte de N fijado por el *A. acuminata* (Russo 1990). No obstante, la mayor carga animal en pasturas en monocultivo podría estar contribuyendo también en este resultado.



**Figura 1.** Comportamiento de la densidad aparente (DA) en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM=0) y sistemas silvopastoriles con *Alnus acuminata* de diferentes edades en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. Las barras lineales corresponden a la desviación estándar.

La RP mostró un comportamiento similar al de la DA conforme aumenta la edad de los árboles de *A. acuminata* en las pasturas, con valores comprendidos entre 3,16 y 2,14  $kg\ m^{-2}$ , para el sistema en monocultivo y el SSP con *A. acuminata* de cuatro 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 RP ( $Y$ ,  $kg\ m^{-2}$ ) por medio del modelo  $Y = 3,18 - 0,24X$ ;  $R^2=0,83$  (Figura 2). Esto podría haber ocurrido debido a la correlación entre edad y materia orgánica del suelo; la edad explica la variabilidad de materia orgánica y por lo tanto, cuando se incluye esta última variable en el modelo de regresión lineal, no resulta significativa. El valor más alto de la RP se podría atribuir a la mayor carga animal imperante en las pasturas en monocultivo. Es importante mencionar que la DA y la RP, constituyen indicadores correlacionados para medir el grado de compactación en suelos; la correlación registrada fue

significativa ( $r = 0,63$ ;  $p < 0,05$ ). Dicho impacto según Spain y Gualdrón (1997), se localiza en los primeros 20 cm de profundidad en suelos afectados por sobrepastoreo de los animales



**Figura 2.** Relación entre la resistencia a la penetración del suelo (RP) y la edad de *Alnus acuminata* en los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica (0 = pasturas en monocultivo)

### Nitrógeno total

La concentración de N en cada estrato del suelo presentó diferencia significativa entre edades ( $p < 0,01$ ), no así para profundidad e interacción edad y profundidad ( $p > 0,05$ ). En este sentido los SSP mostraron una mayor concentración de N 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 de *A. acuminata* (Figura 3). Ello se puede atribuir a la capacidad de fijación de N atmosférico de *A. acuminata*, que puede alcanzar hasta los 320  $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$  (Ruso 1990) Este comportamiento coincide con Bolívar *et al* (1999), quienes encontraron valores superiores de N en el suelo en un SSP con *Acacia mangium* y *Brachiaria humidicola* en comparación a pasturas en monocultivo.

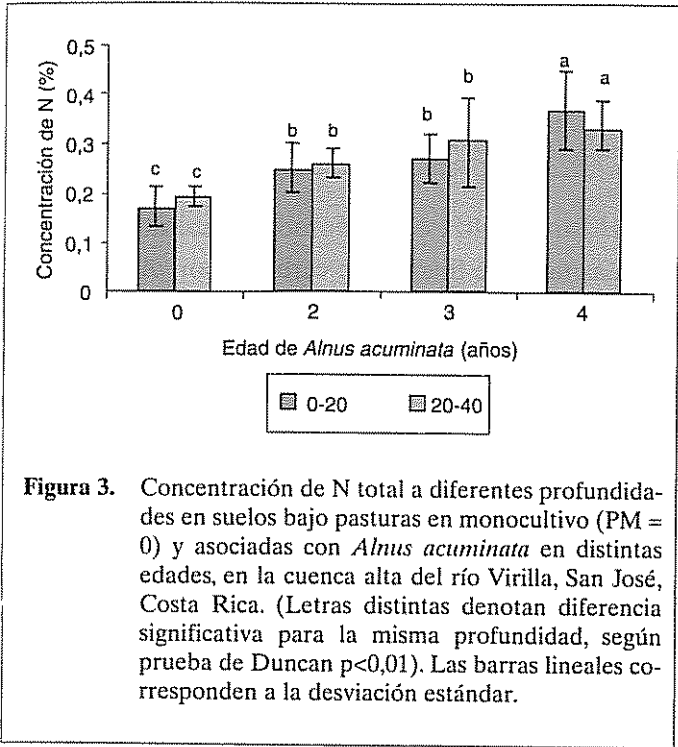
El N en el suelo ( $Y$ , %) de acuerdo al análisis de regresión lineal múltiple, presentó una relación significativa ( $p < 0,01$ ) con la edad de *A. acuminata* ( $X_1$ , años) y la MO del suelo ( $X_2$ , %), para lo cual se ajustó el modelo  $Y = 0,06 + 0,04X_1 + 0,02X_2$ ;  $R^2=0,84$ .

### Carbono total almacenado

El COS total contenido en el estrato de 0-60 cm se incrementó ligeramente conforme aumentó la edad de los árboles de *Alnus acuminata* en las pasturas (Cuadro 1). Sin embargo, la edad de los árboles de *A. acuminata* no afectó significativamente el COS ( $p > 0,05$ ), mientras que los niveles de profundidad influyeron sobre este parámetro ( $p < 0,05$ ). La interacción entre los factores edad y

profundidad no fue significativa ( $p>0,05$ ). En el análisis de regresión lineal múltiple, el COS no presentó relación significativa ( $p>0,01$ ) con ninguna de las variables consideradas.

edad del sistema imperante en la explotación de los suelos y algunas de sus características físicas, químicas y biológicas (Palencia y Martíni 1970).



**Figura 3.** Concentración de N total a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas en monocultivo (PM = 0) y asociadas con *Alnus acuminata* en distintas edades, en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. (Letras distintas denotan diferencia significativa para la misma profundidad, según prueba de Duncan  $p<0,01$ ). Las barras lineales corresponden a la desviación estándar.

El C almacenado en los tallos de *A. acuminata* en los SSP fue de 1,1, 4,2 y 6,2 t ha<sup>-1</sup> para las edades de 2, 3 y 4 años, respectivamente (Cuadro 2). Para estas edades la tasa de fijación de C en los tallos correspondió a 0,5, 1,4 y 1,7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Estos valores son inferiores a lo reportado por Ávila *et al* (2001), quienes encontraron valores de 2,2 y 1,8 tC ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para SSP de tres años de edad de *Brachiaria brizantha* con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta*, respectivamente, en la zona Norte baja de Costa Rica. Ello se puede atribuir a los siguientes factores ligados a *A. acuminata*: no se consideró la biomasa aérea total, menor densidad de la madera, alta densidad de árboles y a la fuerte competencia del pasto *P. clandestinum*, la cual ocurre desde el momento de la siembra.

El C total almacenado en los sistemas de monocultivo y con *A. acuminata*, varió de 184,6 a 202,9 t ha<sup>-1</sup>, del cual la mayor parte tiene como fuente principal el COS, con un aporte superior al 97% (Cuadro 2). Fisher *et al* (1994) y López *et al* (1999), señalan que las pasturas mejoradas en suelos con textura franco arenosa poseen una alta densidad de raíces, lo cual les permite adicionar constantemente C 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 y/o retención de maderables dentro de las pasturas, sería el considerarlos en el pago de servicios ambientales, acorde a la capacidad de fijación y almacenamiento de C 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.

**Cuadro 1.** Carbono orgánico secuestrado (tC ha<sup>-1</sup>) a diferentes profundidades en suelos bajo pasturas de *Pennisetum clandestinum* en monocultivo (0) y asociadas con *Alnus acuminata* de diferentes edades en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica.

PROFUNDIDAD (cm)	Edad de <i>Alnus acuminata</i> (años)			
	0	2	3	4
0-20	65,1±15,8	73,2±14,2	69,7±8,2	78,4±3,8
20-40	62,7±9,7	62,3±5,2	64,1±9,6	65,7±5,4
40-60	56,8±9,0	51,1±8,7	61,7±7,9	52,6±3,4
TOTAL	184,6±32,0	186,6±46,2	195,5±24,8	196,7±9,1

**Cuadro 2.** Carbono total almacenado en pasturas de *Pennisetum clandestinum* en monocultivo (0) y asociadas con *Alnus acuminata* de diferentes edades en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica.

Edad de <i>Alnus acuminata</i> (años)	Carbono orgánico en el suelo (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono en el volumen total de madera (t ha <sup>-1</sup> )	Carbono total almacenado en el sistema (t ha <sup>-1</sup> )
0	184,6±32,2	0,0	184,6
2	186,6±46,2	1,1±0,6	187,7
3	195,5±24,9	4,2±1,2	199,6
4	196,7±9,1	6,2±0,8	202,9

## CONCLUSIONES

- Los sistemas silvopastoriles con *Alnus acuminata* y *Pennisetum clandestinum* mejoraron los parámetros del suelo: densidad aparente, resistencia a la penetración y nitrógeno total, además de contribuir con un mayor secuestro de carbono total del sistema en comparación a las pasturas en monocultivo.
- Las tasas de fijación de carbono por *A. acuminata* dentro de los SSP fue de 0,5, 1,4 y 1,7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, en edades de dos, tres y cuatro años, respectivamente. Ello refleja una faceta positiva de estos sistemas como una alternativa de producción animal ecoamigable.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- 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, J; 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.
- Brown, S; Lugo, AE. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science* 223:1290-1293.
- 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 p. 115 - 135.
- Henríquez, C; Bertsch, F; Salas, R. 1995. Fertilidad de suelos, manual de laboratorio San José, CR. Asociación Costarricense de ciencia del suelo. 64 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. p. 31 - 56.
- 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.
- 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 sobre Técnicas de Producción de Leña en Fincas Pequeñas y Recuperación de Sitios Degradados por medio de la Silvicultura Intensiva. Ed. R. Salazar. Turrialba, CR, CATIE/IUFRO. p. 301 - 314.
- Palencia, JA; Martini, JA. 1970. Características morfológicas, físicas y químicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. *Turrialba* 20 (3):325-332.
- Pezo, D; Romero, F; Ibrahim, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para leche y carne. *In* Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Ed. S. Fernández - Baca. Santiago, Chile, FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe p. 47-98.
- Reyes, G; Brown, S; Chapman, J; Lugo, AE. 1992. Wood densities of tropical tree species. New Orleans, US. Forest Service. 52 p.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 10(3):241-252.
- Spain, JM; Gualdrón, R. 1997. Degradación y rehabilitación de pasturas. *In* Reunión del Comité Asesor de la RIEPT (4, 1988, Veracruz, MX). Establecimiento y renovación de pasturas. Eds. CE Lascano; JM Spain. Cali, CO, CIAT. p. 269-283.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The hamburger connection hango-ver: cattle, pasture, land degradation and alternative land use in Central America. *Turrialba, CR, CATIE*. 71 p. (Serie Técnica Informe Técnico no. 313).
- Ugalde, LA. 2001. El sistema MIRA componente de silvicultura: manual del usuario. *Turrialba, CR, CATIE* 91 p.