

Avances de Investigación

Clasificación de usos del suelo en paisajes ganaderos: el caso de Esparza, Costa Rica

Federico Villatoro¹; Joel C. Sáenz¹

Palabras claves: agropaisaje; análisis discriminante canónico; variables de vegetación.

RESUMEN

La clasificación de usos del suelo en paisajes ganaderos generalmente se realiza tomando en cuenta la densidad de árboles independientemente de su cobertura de copa. Esto podría conducir a una ambigüedad, ya que en ocasiones se tendrían potreros con la misma cobertura pero diferente densidad arbórea. Este artículo presenta un método para clasificar potreros en paisajes ganaderos utilizando un análisis discriminante canónico de variables (ADC) con 16 usos del suelo en fincas de Esparza, Costa Rica, y seis variables de la vegetación: (i) densidad de árboles, (ii) porcentaje de cobertura del dosel, (iii) altura del dosel, (iv) riqueza de especies vegetales leñosas, (v) diámetro a la altura del pecho medio y (vi) densidad de arbustos. El primer ADC muestra que las variables de vegetación discriminan bien los tipos de usos del suelo, pero los reclasifica en tres grupos: los no manejados por los productores (bosque secundario, ripario y primario), los potreros y las cercas vivas. Se realizó un segundo ADC con los usos del suelo manejados por los productores (potreros, cercas vivas y frutales) y las variables de vegetación. Este análisis muestra que el diámetro promedio y el porcentaje de cobertura del dosel discriminan bien las pasturas o potreros, siendo el último el de mayor peso dentro del modelo. Se recomienda utilizar la cobertura del dosel para clasificar los usos del suelo en este paisaje ganadero.

Classification of land use in cattle landscapes: A case study in Esparza, Costa Rica

Key words: agricultural landscape; canonical analysis; vegetation variables.

ABSTRACT

Land use classification on landscapes dominated by cattle is generally based on tree density without taking tree cover into account. This can lead to an ambiguous classification because it is possible to have pastures with the same tree cover without the same tree density. This paper presents a method for land use classification on landscapes dominated by cattle using a canonical variable analysis (CDA or canonical discriminant analysis) for 16 land uses in farms of Esparza, Costa Rica, and six quantitative vegetation attributes: (i) tree density, (ii) percentage of canopy cover, (iii) canopy height, (iv) tree species richness; (v) diameter at breast height, and (vi) shrub density. The first CDA showed that the variables discriminated among land uses. Three groups were identified: non-managed uses (primary, secondary and riparian forests), pastures, and live fences. A second CDA was applied to managed land uses (pastures, live fences and fruit plantations) and vegetation variables. This analysis showed that percentage of canopy cover and diameter at breast height are useful variables to discriminate among pasture types. The first variable had more weight in the model. We recommend using percentage of canopy cover to classify land uses in this agricultural landscape.

INTRODUCCIÓN

La clasificación o definición de un sitio o área considerando sus características biológicas, de suelo, físicas y ambientales es un problema que no solo atañe a la ecología o biología en general, sino a todas las disciplinas relacionadas con el uso y la conservación de los recursos naturales. Incluso en disciplinas consolidadas —como la ecología de la vida silvestre, biología de la conservación y manejo de vida silvestre— todavía existen conceptos y definiciones poco claros, vagos en su contenido y contexto y, en algunos casos, confusos. Este problema se

acentúa cuando se trata de conceptos y definiciones claves para poder entender la dinámica y los procesos en un determinado ecosistema. Uno de esos conceptos es el de *hábitat*, el cual genera muchos problemas en estudios y discusiones actuales, que constituyen fuente de ambigüedades e imprecisiones (Block y Brennan 1993, Hall et ál. 1997). Block y Brennan (1993) discutieron el concepto de hábitat en el contexto de la ornitología, y es de los pocos conceptos unificados en la ecología contemporánea.

¹ Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Costa Rica. Correos electrónicos: fvillatoropaz@gmail.com, jsaenz@una.ac.cr

La situación descrita anteriormente no es ajena a la agroforestería o ciencias forestales, donde el término “hábitat” es usado como sinónimo de usos del suelo, tipo de cobertura vegetal, tipos de vegetación o asociación vegetal. En el caso de la agroforestería, existe la tendencia generalizada a utilizar el término “usos del suelo” para describir un sitio en particular, sea de origen natural (remanentes de bosques) o antropogénico (potreros, cercas vivas, plantaciones de frutales o forestales). En el caso del Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas (GEF-Silvopastoril), desarrollado en Costa Rica, Colombia y Nicaragua y ejecutado por el CATIE, se emplea la terminología de “uso del suelo” para definir la condición de las áreas de terreno existentes en las fincas dedicadas a la ganadería y agricultura (Murgueitio et ál. 2003). En esta definición y clasificación de los potreros y demás usos del suelo, uno de los principales criterios es la densidad de las especies arbóreas; así, la clasificación de potreros de alta densidad de árboles es producto del número de árboles por unidad de área. Sin embargo, esta definición no es muy operable cuando se trata de relacionarla con la biota aún presente en este tipo de paisaje, porque muchos taxas responden a otros parámetros de vegetación, como pueden ser la cobertura del dosel, densidad de copas o altura del dosel.

El objetivo de este estudio es proponer un método que permita diferenciar mejor los potreros y los usos del suelo presentes en las fincas ganaderas de Esparza, usando un análisis discriminante canónico (ADC). Las variables discriminantes consideradas fueron diámetro promedio a la altura del pecho (dap), la altura del dosel, la densidad de árboles y arbustos, el porcentaje de cobertura del dosel y la riqueza de especies leñosas en los distintos usos del suelo. El método propuesto usa las variables que mejor discriminan los tipos de uso de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los cantones de Esparza y Montes de Oro, Provincia de Puntarenas, en la región Pacífico Central de Costa Rica (09°59'N y 84°38'O; 50-1000 msnm). La zona de vida presente es el bosque subhúmedo tropical en transición (Holdridge 1978), con una temperatura media anual de 27 °C, y una precipitación que varía entre 1500 y 3000 mm (Chinchilla 1987). La actividad predominante de Esparza es la producción ganadera (carne y leche). El paisaje está formado por una matriz predominante de pasturas, fragmentos de bosques secundarios, riparios y cha-

rrales. Los bosques riparios son de escasa extensión y forma lineal, generalmente con un ancho menor a los 50 m. La diversidad arbórea estimada para la región es de 186 especies, pertenecientes a 58 familias. Las especies de árboles más comunes de la zona son *Bursera simaruba*, *Pachira quinata*, *Cordia alliodora*, *Spondias purpurea*, *Guazuma ulmifolia*, *Tabebuia rosea*, *Ficus jimenezii*, *Ficus citrifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Byrsonima crassifolia*, *Acrocomia aculeata* y *Gliricidia sepium* (Murgueitio et ál. 2003).

Selección de fincas y parcelas

Se seleccionaron 120 parcelas distribuidas en 16 tipos de uso del suelo (Chiple et ál. 2003, Murgueitio et ál. 2003) utilizando fotografías aéreas a escala 1:40000, imágenes de satélite Quickbird 2003 y la base de datos de usos del suelo de las fincas del proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, ejecutado por CATIE en Costa Rica. Los usos del suelo seleccionados fueron banco forrajero, bosque primario, bosque ripario, bosque secundario, plantación forestal, cultivos de frutales, cerca viva permanente, cerca viva manejada, pastura natural con alta densidad de árboles, pastura mejorada con alta densidad de árboles, pastura natural con baja densidad de árboles, pastura mejorada con baja densidad de árboles, pastura natural sin árboles, pastura mejorada sin árboles, pastura degradada con vegetación y sucesión vegetal. Se realizaron entre cinco y diez repeticiones (parcelas) por cada uso del suelo, con excepción del bosque pri-



Finca ganadera con distintos usos de la tierra en Esparza, Costa Rica (foto: ML Enríquez)

mario, con una parcela. Las variables de vegetación de las parcelas se midieron en unidades homogéneas de paisaje y se muestrearon sitios con áreas mayores a una hectárea, o con al menos 300 m de largo en el caso de las cercas vivas.

Estructura de la vegetación

La caracterización de la vegetación de cada uso del suelo se realizó durante la época lluviosa, usando el método sugerido por Schemske y Brokaw (1981), Wunderle y Waide (1993) y Chipley et ál. (2003). Se ubicó el centro de la parcela a una distancia de 25 m del límite del uso de suelo, con excepción de las cercas vivas y bosques riparios. En cada uso del suelo se delimitó una parcela de 0,1 ha (20 x 50 m), orientada de norte a sur y rotada de este a oeste cuando se presentaba algún obstáculo como una cerca o límite de uso del suelo. Dentro de la parcela se realizó un inventario total de especies leñosas mayores de 10 cm de dap y se obtuvo así el dap promedio para la parcela. En la parcela de 0,1 ha se extendieron cuerdas de 14 m hacia los cuatro puntos cardinales, formando una cruz, para realizar el conteo de arbustos, la estimación de la altura de los árboles y el porcentaje de cobertura de dosel. El número de arbustos (dap > 3 cm) se obtuvo caminando a lo largo de las cuerdas de 14 m con los brazos extendidos (1,5 m). Del mismo modo, se midió la altura de los árboles en las líneas de 14 m. En las cercas vivas, se seleccionó una parcela lineal de 56 m, iniciando en el centro de la cerca. En esta, se contaron los arbustos (dap > 3 cm) y se registraron las especies leñosas mayores (dap > 10 cm). La cobertura del dosel fue estimada midiendo sobre las cuerdas extendidas de 14 m en cinco sitios equidistantes de cada punto cardinal con un densitómetro esférico convexo. En las cercas vivas se midió en cinco puntos, cada 14 m.

Análisis discriminante canónico

Se realizaron dos análisis discriminantes canónicos para encontrar las variables que mejor discriminan los usos del suelo con el programa CANOCO 4,5 para Windows (Ter Braak y Smilauer 2002). La elección de las variables se realizó usando regresiones por partes (*forward stepwise regression*) de la variable o variables que mejor discriminan los diferentes tipos de uso utilizando 499 permutaciones de Monte Carlo, con pruebas de F para probar la significancia. El criterio para mantener una variable dentro el modelo fue $p < 0,1$. El primer ADC se realizó con las 120 parcelas pertenecientes a 16 tipos de uso. Luego se realizó un segundo ADC con

dos de los tres grupos resultantes del primer ADC, que son todos los usos que presentan las fincas (potreros, cercas vivas y plantaciones de frutales y forestales). Este segundo ADC se realizó con el objeto de encontrar las variables que mejor discriminan los tipos de potreros dentro del paisaje agropecuario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer ADC encontró que la densidad de árboles, el dap promedio, el número de arbustos, la cobertura del dosel y la altura promedio del dosel separan los usos del suelo en tres grupos (Figura 1). El primer eje canónico (horizontal) separa los tipos de uso de suelo que el productor utiliza y maneja (pasturas, cercas vivas y frutales) de los que no utiliza (bosque primario, secundario, ripario y sucesión vegetal o tacotal). El ADC muestra tres grupos de usos de suelo, donde los usos forestales (bosque primario, secundario, ripario y tacotal) constituyen el primer grupo, discriminado por tres variables: la riqueza vegetal, la cobertura de dosel y la densidad de árboles.

El segundo grupo estuvo compuesto por las pasturas y plantaciones de frutales y forestales. El segundo eje canónico (vertical en la Figura 1) fue representado por la densidad arbórea; en este eje se hace evidente el tercer grupo, compuesto por los dos tipos de cercas vivas: las permanentes (no manejadas) y las manejadas. Estas cercas poseen la mayor densidad de árboles. La importancia de cada variable en el análisis discriminante está dada por su autovalor (*eigenvalue*, λ) como resultado de la regresión por partes realizada previo a este ADC (Cuadro 2). Aunque la prueba de multicolinealidad fue negativa, la cobertura del dosel aparece de último en la lista porque no está significativamente correlacionada ($p > 0,05$) con la riqueza vegetal y con la altura de dosel (Cuadro 3), y no por su falta de importancia en la explicación de la varianza de los datos (Cuadro 2).

El segundo ADC se realizó con las parcelas pertenecientes a los usos del suelo que el productor utiliza o maneja: pasturas mejoradas y naturales sin árboles, pasturas mejoradas y naturales con alta y baja densidad de árboles, frutales y cercas vivas. La selección de las variables de la regresión por partes muestra que la riqueza vegetal ya no es significativa (Cuadro 4), debido a que la diversidad de especies leñosas es baja en las plantaciones de frutales y forestales y muy similar entre las pasturas.

El primer eje canónico (horizontal en la Figura 2), representado por la densidad de árboles, nos ayuda a discriminar solo entre las cercas vivas y los otros usos del suelo. Las pasturas, junto con los frutales, tienen valores muy similares de densidad arbórea. En el segundo eje canónico (vertical en la Figura 2), la cobertura de dosel y el dap promedio separan claramente las tres clases de

pasturas: pasturas sin árboles, pasturas con baja densidad de árboles y pasturas con alta densidad de árboles. Además, el segundo eje canónico muestra un gradiente que va de menor a mayor cobertura de dosel y dap promedio, y resalta la importancia de la cobertura de dosel para la discriminación de los diferentes tipos de pasturas (Cuadro 4).

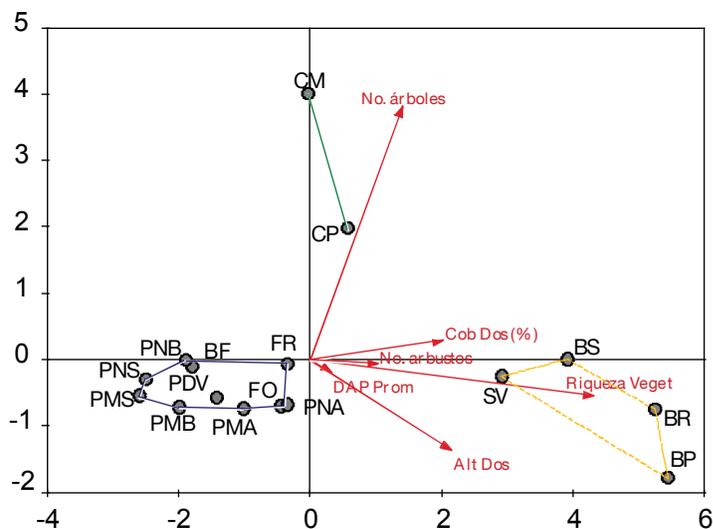


Figura 1. Análisis discriminante canónico de 16 tipos de uso del suelo en Esparza, Costa Rica ($n = 120$ parcelas). La dirección de las flechas indica su posición con respecto a los ejes, y su magnitud el grado de valor explicativo de las variables. Los polígonos son los distintos grupos discriminados. Cob Dos = cobertura del dosel; Alt Dos = altura del dosel; DAP Prom = DAP promedio; Riqueza Veget = riqueza vegetal; No. arbustos = densidad de arbustos; No. árboles = densidad de árboles; BF = banco forrajero; BP = bosque primario; BR = bosque ripario; BS = bosque secundario; FO = plantación forestal; FR = plantaciones de frutales; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; PNA = pastura natural de alta densidad de árboles; PMA = pastura mejorada de alta densidad de árboles; PNB = pastura natural de baja densidad de árboles; PMB = pastura mejorada de baja densidad de árboles; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pastura degradadas con vegetación; SV = sucesión vegetal.

Cuadro 2. Selección de variables de vegetación con el método de regresión por partes utilizando 499 permutaciones de Monte Carlo en el primer ADC en 16 usos del suelo en Esparza, Costa Rica

Variable	λ	P	F	Efectos marginales ($\lambda 1$)
Riqueza vegetal	0,82	0,002	6,89	0,82
Densidad de árboles	0,55	0,002	4,78	0,65
Altura promedio de dosel	0,44	0,002	3,86	0,61
Dap promedio	0,34	0,002	3,12	0,58
Densidad de arbustos	0,28	0,004	2,51	0,42
Cobertura de dosel (%)	0,23	0,006	2,16	0,40

Cuadro 3. Matriz de Correlación entre seis variables de vegetación de 16 usos del suelo en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica

Variables	Densidad de árboles	dap promedio	Cobertura del dosel (%)	Altura del dosel	Riqueza vegetal	Densidad de arbustos
Densidad de árboles	1					
Dap promedio	-0,04	1				
Cobertura del dosel (%)	0,46	0,19	1			
Altura del dosel	0,25	0,60	0,60	1		
Riqueza vegetal	0,38	0,10	0,62	0,66	1	
Densidad de arbustos	0,03	-0,13	0,21	0,08	0,26	1

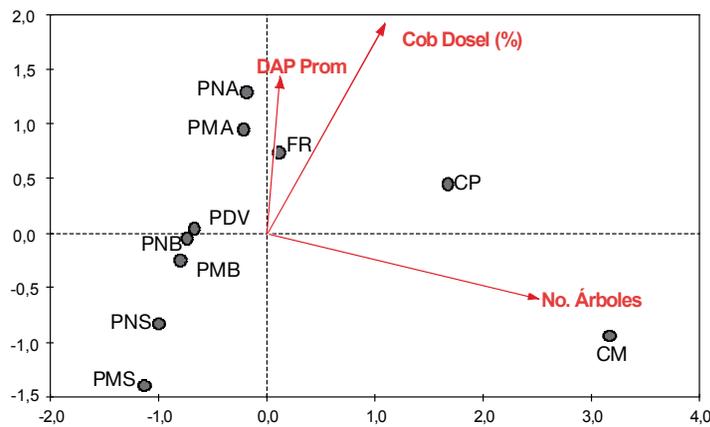


Figura 2. Análisis discriminante canónico de diez tipos de uso del suelo de Esparza, Costa Rica ($n = 80$). La dirección de las flechas indica su posición con respecto a los ejes y su magnitud el grado de valor explicativo de las variables. Cob Dosel = cobertura del dosel; DAP Prom = dap promedio; No. Árboles = densidad de árboles; FR = plantaciones de frutales; CP = cerca viva permanente; CM = cerca viva manejada; PNA = pastura natural de alta densidad de árboles; PMA = pastura mejorada de alta densidad de árboles; PNB = pastura natural de baja densidad de árboles; PMB = pastura mejorada de baja densidad de árboles; PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PDV = pasturas degradadas con vegetación; SV = sucesión vegetal.

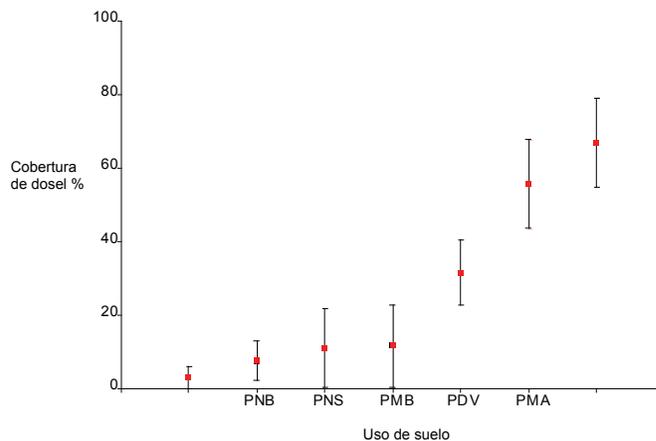


Figura 3. Cobertura de dosel promedio de diferentes tipos de pasturas en el paisaje de Esparza, Costa Rica. Barras de error corresponden a la desviación estándar. PMS = pastura mejorada sin árboles; PNB = pastura natural de baja densidad de árboles; PNS = pastura natural sin árboles; PMB = pastura mejorada de baja densidad de árboles; PDV = pasturas degradadas con vegetación; PMA = pastura mejorada con alta densidad de árboles; PNA = pastura natural con alta densidad de árboles.

Se encontró una diferencia significativa en el porcentaje de cobertura de dosel y en la densidad de árboles entre los diferentes tipos de pasturas ($p = 0,0073$ y $p = 0,011$, respectivamente, Figura 3). Las pasturas mejoradas con alta densidad presentaron la mayor densidad de árboles (Figura 4).

Cuadro 4. Selección de variables de vegetación mediante selección por partes utilizando 499 permutaciones de Monte Carlo en el segundo ADC con diez usos del suelo de Esparza, Costa Rica

Variables	Efectos condicionales		
	λ	P	F
Densidad de árboles	0,62	0,002	5,87
Cobertura de dosel (%)	0,39	0,002	3,88
Dap promedio	0,33	0,004	3,36
Riqueza vegetal	0,15	0,092	1,56

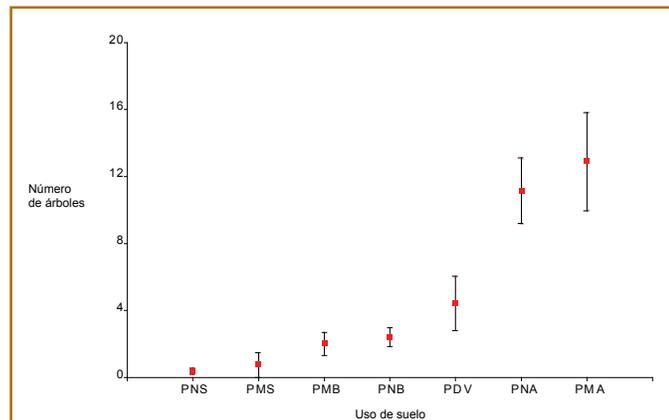


Figura 4. Densidad arbórea promedio en diferentes tipos de pasturas en el paisaje de Esparza, Costa Rica. Barras de error corresponden a la desviación estándar. PNS = pastura natural sin árboles; PMS = pastura mejorada sin árboles; PMB = pastura mejorada de baja densidad de árboles; PNB = pastura natural de baja densidad de árboles; PDV = pasturas degradadas con vegetación; PNA = pastura natural con alta densidad de árboles; PMA = pastura mejorada con alta densidad de árboles

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se recomienda reducir a dos los tipos de pasturas (con alta y con baja cobertura de árboles) que actualmente monitorea el proyecto GEF-Silvopastoril, porque las diferencias en la cobertura y la densidad de árboles entre las pasturas sin árboles y las de baja densidad de árboles no fueron significativas. Asimismo, se recomienda utilizar el porcentaje de cobertura del dosel y el dap promedio como variables de clasificación de

pasturas, tanto en este proyecto como en otros relacionados con los sistemas silvopastoriles. De esta forma, se puede unificar criterios, al menos en la definición y caracterización de las pasturas, sistemas importantes en este tipo de paisajes. El porcentaje de cobertura de dosel, además de discriminar mejor los tipos de pasturas, es una variable importante para otras investigaciones como los estudios de biodiversidad y monitoreo de fauna silvestre.

AGRADECIMIENTOS

A M. Otárola y M. Mesén, quienes realizaron el inventario de la vegetación. A J. Carvajal y R. Menacho por la recolección de datos en el campo. A la American Bird Conservation por financiar la investigación a través de los fondos del Global Environmental Fund (GEF). Al Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre de la Universidad Nacional, Costa Rica, por el apoyo logístico y académico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Block, WM ; Brennan, LA. 1993. The habitat concept in ornithology: theory and applications. *In* Power, DM. ed. Current Ornithology. Nueva York, US, Plenum Press. v. 11, p. 35-91.
- Chiple, R; Wallace, G; Naranjo, LG. 2003. Manual para el Monitoreo de Biodiversidad. Washington DC, US, American Bird Conservancy. 42 p.
- Chinchilla, E. 1987. Atlas Cantonal de Costa Rica. Instituto de Fomento y Asesoría Municipal. 1 ed. San José, CR, Imprenta Nacional de Costa Rica. 392 p.
- Hall, LS; Krausman, PR; Morrison, ML. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25(1): 173-182.
- Holdridge, L. 1978. Ecología Basada en Zonas de Vida. San José, CR, IICA. 214 p.
- Holguín, VA; Ibrahim, M; Mora, J; Rojas, A. 2003. Caracterización de sistemas de manejo nutricional en ganaderías de doble propósito de la región Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):40-46.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CE; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas: Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. 2 ed. Medellín, CO, Fundación CIPAV, CATIE, UCANITLAPAN. 97 p.
- Schemske, DW; Brokaw, N. 1981. Tree falls and the distribution of understorey birds in a tropical forest. *Ecology* 62: 938-945
- Ter Braak, CJF; Smilauer, P. 2002. CANOCO Reference Manual and Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Biometrics, Wageningen, NE, Wageningen University and Research Centre. 499 p.
- Wunderle, JM; Waide, RB. 1993. Distribution of overwintering Nearctic migrants in the Bahamas and Greater Antilles. *Condor* 95: 904-933.