



COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DEL PAISAJE MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE PARÁMETROS SOCIALES Y ECONÓMICOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS

Edna Rocío Castañeda Salazar, Juan Carlos Suárez Salazar & Patrick Marie Lavelle

Artículo recibido el 06 de julio de 2013, aprobado para publicación el 29 de noviembre de 2013.

Resumen

En este estudio fue determinada la cobertura y composición del paisaje de la Amazonia colombiana deforestada. Para tal fin fue empleada una metodología definida en el marco del proyecto AMAZ en Colombia. Esta metodología es soportada por herramientas de teledetección, análisis de índices de configuración espacial y levantamiento de información en campo con geoposicionador satelital. Adicionalmente, son integrados parámetros socioeconómicos desarrollados a partir de información generada con encuestas estructuradas y la definición de variables determinantes en el análisis de los índices del paisaje según la composición y estructura, la cual es dividida en tres sistemas de producción que difieren en la dinámica paisajística y socioeconómica, denominados “ventanas”: (i) ventana agroforestal (CAF), (ii) silvopastoril (CSP) y (iii) tradicional de uso ganadero (CTR). Cada ventana es representada con nueve fincas. Utilizando una imagen SPOT 4 de 2007, fue realizada una clasificación supervisada agrupando nueve clases: pasto limpio (PL), pasto con árboles dispersos (PAD), pasto con leñosas (PCL), rastrojo joven (RJ), rastrojo viejo (RV), plantación agroforestal (SAF), plantación de palma africana (PP), huerto habitacional (SF) y plantación de arbustos forrajeros (PFN). En términos generales fueron identificadas diferencias en el sistema agroforestal con relación al tradicional uso ganadero, donde el primero presenta mayor heterogeneidad y reporta mayores ingresos en el tiempo, indicando una mayor sostenibilidad en el sistema.

Palabras clave: Amazonia, cobertura, clasificación supervisada, paisaje, estructuras sociales.

COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE LANDSCAPE THROUGH THE INTEGRATION OF SOCIO AND ECONOMIC PARAMETERS IN SYSTEMS OF PRODUCTION

Abstract

In this study was determined the coverage and landscape composition of the Colombian Amazon deforested. For this end, it was utilized a defined methodology by the AMAZ project in Colombia. This methodology is supported by remote sensing tools, analysis of spatial configuration indices and information obtained in field with satellite-based geopositioning system. Additionally, are integrated socio-economic parameters developed from information generated with questionnaires, and definition of key variables in the analysis of landscape rates according to the composition and structure, which I divided in three production system that differ in landscape and socioeconomic dynamics, named windows: (i) agroforestry window (CAF), silvopastoral (CSP) and traditional livestock use (CTR). Each window represented by 9 farms. Using a SPOT 4 image of 2007, it was performed a supervised classification grouping nine classes: Pastures (PL), dispersed trees in pastures (PAD), pastures with woody species (PCL), young stubble (RJ), old stubble (RV), agroforestry plantation (SAF), oil palm plantation (PP), housing garden (SF), fodder shrubs plantation (PFN). In general, there were identified differences in the agroforestry system compared to the traditional livestock use, where the first shows greater heterogeneity and reported higher incomes indicating a more sustainable system.

Key words: Amazonia, land cover, supervised classification, landscape, social structures.

COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DA PAISAGEM A TRAVES DA INTEGRAÇÃO DE PARÂMETROS SOCIAIS E ECONÓMICOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Resumo

Neste estudo foi determinada a cobertura e composição da paisagem da Amazônia colombiana desflorestada. Para isto foi empregada uma metodologia definida no projeto AMAZ na Colômbia. Esta metodologia foi suportada por ferramentas de teledeteção, análise de índices de configuração espacial e levantamento de informação em campo com geoposicionador por satélite. Adicionalmente, são integrados parâmetros socioeconômicos desenvolvidos a partir de informação gerada com entrevistas estruturadas e a definição de variáveis determinantes no análise dos índices da paisagem segundo a composição e estrutura, a qual é dividida em três sistemas de produção que diferem a dinâmica paisagística e socioeconômica, denominados “janelas”: (i) janela agroflorestal (CAF), (ii) silvopastoril (CSP) e tradicional de uso para gado (CTR). Cada janela é representada com nove fazendas. Usando uma imagem SPOT 4 de 2007, foi realizada uma classificação supervisada agrupando nove classes: pasto limpo (PL), pasto com arvores dispersos (PAD), pasto com lenhosas (PCL), restolho jovem (RJ), restolho velho (RV), plantação agroflorestal (SAF), plantação de palma africana (PP), horto habitacional (SF) e plantação de arbustos de forragem (PFN). Em termos gerais foram identificados diferenças no sistema agroflorestal com relação ao tradicional uso para gado, onde o primeiro apresenta maior heterogeneidade e reporta maiores ingressos no tempo, indicando uma maior sustentabilidade no sistema.

Palavras-chave: Amazônia, cobertura, classificação supervisada, paisagem, estruturas sociais.

Introducción

El paisaje es un territorio heterogéneo compuesto ecosistemas que interactúan y se repiten de forma similar. Para Forman & Godron (1981) el paisaje tiene tres características fundamentales, en las cuales se apoya el estudio de la ecología del paisaje: estructura o patrón, función y dinámica. De esta manera la ecología del paisaje está fundada en los patrones del medio ambiente que son influenciados por los procesos ecológicos. Los hábitats en los cuales los organismos viven, por ejemplo, están espacialmente estructurados en el número de escalas y los patrones que interactúan con la percepción de los organismos conducen el comportamiento a los procesos del nivel de las dinámicas poblacionales y estructura de las comunidades (McGarigal *et al.*, 2002). Actividades antropogénicas (por ejemplo: explotación maderera) pueden alterar la integridad estructural de los paisajes y esperar impedirlo o en algunos casos facilitar los flujos ecológicos (por ejemplo, movimiento de organismos) a través del paisaje (Gardner *et al.*, 1993). Una alteración en los patrones del paisaje puede por lo tanto comprometer esa integridad funcional por la interferencia con los procesos ecológicos críticos necesariamente por la persistencia de la población y el mantenimiento de la biodiversidad y el ecosistema (Pinto, 2006).

La región Amazónica es un lugar que alberga valores excepcionales de biodiversidad, ha sido sujeto de diversos estudios de interés mundial principalmente por los procesos de deforestación; sin embargo, desde hace algunos años se quiere estudiar su incidencia a una escala grande: paisaje. Este es el resultado de la interacción de los aspectos ecológicos y sociales que dan como resultado un elemento, tal como puede ser una pastura, un bosque, un rastrojo; matriz característica del paisaje amazónico caqueteño.

Los principales cambios en la región Amazónica colombiana se han caracterizado por procesos de conversión del bosque a la forma generalizada que es la agricultura migratoria basada en la tumba y quema de bosques maduros o secundarios para implementar cultivos durante un período corto y posterior a ellos áreas de pasturas para ganadería (Andrade, 1990); que cumplida la fase productiva, son abandonadas y se forman áreas de bosque secundario localmente llamados rastrojos. A través de la tecnología de teledetección se puede medir, mapear y monitorear los recursos naturales presentes en esta región, debido a los índices de biodiversidad, la cual ha variado a causa de la transformación del paisaje por la implementación de

monocultivos. Por esta razón surge el interés en estudiar el paisaje existente y el relacionamiento con factores sociales y económicos en la Amazonia caqueteña.

El presente estudio es producto del desarrollo de una metodología definida para la determinación de coberturas y composición del paisaje de la Amazonia colombiana deforestada; para el análisis a nivel de paisaje se realizó una descripción de las estructuras sociales que construyen el paisaje en tres ventanas (sistemas de producción) definidas como tradicionales de uso ganadero, silvopastoriles y agroforestales.

La investigación fue llevada a cabo con los datos obtenidos en el marco del proyecto AMAZ – ES/BD (Biodiversity Amazonian Landscape, Socio-economic drivers and Production of Ecosystems Goods and Services) financiado por la Agencia Nacional de Investigación de Francia - ANR (National Agency for Research); la cual pretende determinar la relación existente entre el paisaje (análisis de la estructura y composición) y parámetros sociales y económicos en tres sistemas de producción de la Amazonia colombiana. Estos sistemas están principalmente caracterizados por sistemas productivos como: (i) Ganadero tradicional que son aquellos finqueros que desarrollan la actividad sin ningún tipo de tecnología y criterios de sostenibilidad (ii) Ganaderos silvopastoriles, que es aquel finquero que desarrollaba su ganadería de manera tradicional pero que en los últimos años ha adoptado algunas medidas para mejorar la actividad productiva con enfoque de sostenibilidad y (iii) Agroforestal, que ha sido el pequeño finquero que ha tenido paquetes tecnológicos agroforestales principalmente enfocados a la producción de caucho con frutales amazónicos. Estos últimos, han sido adoptados por pequeños y medianos productores que han necesitado de alternativas de subsistencia, y que con la ayuda de proyectos de desarrollo de instituciones de fomento agroforestal se han implementado, sin embargo muchas de estas zonas están en proceso de reconversión ganadera tradicional a prácticas donde asocian la ganadería con árboles y desarrollan así un sistema agroforestal.

La fuente principal de datos se obtuvo en campo con información como: tipo de vegetación, descripción del lugar e identificación de diversos usos de la tierra representativos del área. El análisis se realizó por medio de la técnica de la teledetección, permitió la adquisición de datos de la superficie terrestre que se basa en observaciones y variables cuantitativas y cualitativas; la teledetección se realizó de manera supervisada. Así, se analizaron los tipos de cobertura, los cuales fueron

extrapolados a una escala de paisaje en áreas cercanas a las estudiadas; lo que da como resultado el tipo de paisaje predominante y la cartografía de los elementos del paisaje, que pueden ser descritos y clasificados en diferentes aspectos: como biotopos, hábitats, o de una manera simplificada como las clases de cobertura. Estas categorías de cobertura representan la interfaz entre las condiciones naturales y la influencia humana, tanto en el tiempo y en diferentes períodos históricos (Eiden *et al.*, 2000).

De esta manera surge la búsqueda de una respuesta a ¿Cuál es la composición y estructura del paisaje y la relación con parámetros sociales y económicos que se encuentra en tres sistemas de producción en la Amazonia colombiana que está dada por la intervención antrópica?

Materiales y métodos

Las tres localidades se ubican en la región Amazónica del departamento del Caquetá Colombia, seleccionado para el proyecto AMAZ_ES/BD. Se definieron tres ventanas correspondientes a tres sistemas de producción correspondiendo a (i) tradicional de uso ganadero, (ii) sistema silvopastoriles y (iii) agroforestal, donde se seleccionan nueve fincas representativas para cada ventana. El sistema tradicional de uso ganadero se caracterizó por tener pasturas nativas, mejoradas y degradadas, con presencia de arvenses y leguminosas rastreras; el sistema silvopastoril compuesto por bancos de proteína, árboles dispersos en potrero con pasturas nativas y mejoradas; y el sistema agroforestal con cultivos de caucho asociados con cacao y frutales amazónicos como copoazú, cacao y maraco, además de rastrojos con árboles maderables y especies nativas.

Tipología de los elementos del paisaje

De acuerdo con la metodología del proyecto AMAZ_ES/BD, en cada una de las ventanas se escogió un área aleatoriamente dentro de las 27 fincas muestreadas (nueve por ventana), como sistema representativo de cada una. En un transecto de 500 m se realizaron 10 tramos distantes entre sí 50 m, en donde se tomaron fotografías en sentido de los puntos cardinales (N, S, E y W), coordenadas geográficas y descripción florística de cada tramo como muestra de cada elemento del paisaje para referenciar la descripción vegetativa del paisaje de cada ventana. Para el caso de la definición de cada clase se basó en la metodología realizada por Oszwald *et al.* (2010) y Oszwald *et al.* (2011) en el marco del mismo proyecto en Brasil, donde se describen las coberturas encontradas sobre el terreno, con sus particularidades.

Clasificación supervisada

Para la clasificación de los elementos del paisaje fue escogida la imagen del satélite SPOT 4 del 2007, esta imagen de cuatro bandas (azul, rojo, infrarrojo cercano, infrarrojo medio) presentó una resolución de 20 m pixel⁻¹ y un recubrimiento de nubes relativamente bajo. Las bandas utilizadas en este estudio fueron la roja (R), infrarroja cercana (NIR) y la infrarroja media (MIR).

La imagen SPOT 4 fue georreferenciada y ortorectificada con el software de tratamiento de imágenes ENVI. Se superpuso la información catastral del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en formato vectorial de los sitios correspondientes a las ventanas de estudio de los municipios de Florencia, Morelia y Belén de los Andaquíes. La información de terreno correspondiente a la localización de transectos de muestreo fue tratada con el software de geoprocésamiento ArcGIS 9.3. Los archivos vector generados en este procedimiento ubicaron espacialmente los transectos sobre la imagen satelital y se observó de manera virtual la visión del paisaje de terreno mediante el uso de fotografías sobre los cuatro puntos cardinales. Este modelo permitió ver la correspondencia existente entre la firma espectral de las celdas que rodean cada punto y el paisaje registrado en las fotografías.

Para la clasificación de los elementos del paisaje se realizó una Clasificación Supervisada que consiste en asignar píxeles de una imagen a las clases que presentan firmas espectrales similares, lo que reafirma Sabins (1996), al indicar que un píxel puede ser caracterizado por la firma espectral que está determinada por la reflectancia en las diferentes bandas; siendo probable asociar grupos de píxeles idénticos encontrados en la imagen, en clases que coincidan con las categorías de información de interés del usuario. De acuerdo con Campbell (2001), esta clasificación utiliza muestras de identidad conocida para clasificar píxeles de identidad desconocida, lo que se traduce en la metodología apropiada cuando se quiere identificar relativamente pocas clases, cuando se han seleccionado los sitios de muestreo que pueden ser verificados con los datos de referencia sobre el terreno. De esta manera se obtienen los elementos del paisaje discriminados en parches.

Eventos como las nubes y las sombras sobre la imagen fueron omitidos. Posteriormente se seleccionaron tres regiones de interés (agua, bosque, no bosque) con la herramienta ROI del software ENVI, a partir de los cuales se realizó la clasificación mediante el uso del algoritmo de máxima probabilidad (*Maximum*

Likelihood), el cual es uno de los más empleados en este tipo de clasificación. Una vez identificadas las tres regiones se procede a seleccionar nuevas clases de elementos que se encuentren en las regiones bosque y no bosque, al tomar los píxeles homogéneos de cada elemento. Las clases de elementos en las regiones de interés muestran el grado de separabilidad que existe entre las clases a través del Índice Matusita (ENVI, 2003).

Posterior a la clasificación se calculan las matrices de confusión para comprobar la exactitud de la clasificación realizada con el ROI, que se determina por medio de la exactitud total (*Overall accuracy*), que se obtiene al sumar el número de píxeles clasificados correctamente, dividido por el número total de píxeles y coeficiente de Kappa, una técnica discreta multivariada que determina estadísticamente si una matriz de error es significativamente diferente de otra (Berlanga & Ruiz, 2007). Este índice evalúa la concordancia entre variables, es decir la correspondencia entre los datos de la clasificación y de referencia.

Determinación de métricas del paisaje

Para la caracterización de la estructura y composición del paisaje, se realizó el cálculo de los índices a nivel de clase (coberturas) y del paisaje entero (fincas). A partir de cada una de las clases de cobertura identificadas se creó una composición de las mismas, de la cual se obtuvo la información al utilizar como máscara las fincas seleccionadas de la cartografía predial. El procedimiento de extracción se realizó por cada una de las fincas para su posterior análisis en relación a las métricas del paisaje, con el software Fragstat 3.3 (McGarigal *et al.*, 2002). Para un mejor aprovechamiento del área de la clasificación de cobertura y el cálculo de las métricas se reduce el tamaño de las celdas de 20 a 5 m.

Con los cortes extraídos para cada uno de los polígonos de los 27 predios y 135 puntos correspondientes a los transectos, se calcularon dos niveles de análisis: Clase y Paisaje. Los tipos de métricas escogidas fueron: área de clase (CA), calcula el área correspondiente al conjunto de fragmentos que constituyen una clase determinada, se representa en hm^2 ; densidad de parche o fragmentos (PD) que equivale al número de fragmentos que corresponde a cada tipo dividido por el área total del paisaje, multiplicado por 10.000 y 100, para convertir a 100 hm^2 (Badii & Landeros, 2007), Índice de densidad de borde (ED) equivale a la suma de la distancia (m) de todos los segmentos de borde que corresponden a cada tipo de

fragmento de cobertura dividido por el total del área de paisaje cuyo resultado se expresa en $\text{m} \cdot \text{hm}^{-2}$; área total (TA) que equivale al área total del paisaje representado dentro de cada uno de los polígonos de los predios y de los puntos de muestreo, unidades expresadas en hm^2 ; riqueza de parche (PR) que equivale al número de tipos de coberturas presentes en el paisaje al excluir si existe el paisaje que está en el perímetro; riqueza densidad de parche (PRD) que considera el número de tipos de coberturas por hm^2 (Marín *et al.*, 2008) y el índice de diversidad de Shannon (SHDI) que es la suma de los tipos de cobertura; referido a la riqueza (número de tipos de parche) y a la uniformidad (distribución de la superficie de las clases) Eiden *et al.* (2000).

Parámetros sociales y económicos

Se realizó una encuesta cuyo cuestionario estaba dividido en temas relacionados con el componente económico. Las preguntas se enfocaron a determinar los usos del suelo en cada propiedad, manejo pecuario considerado como el inventario ganadero y agrícola, y la cantidad de productos obtenidos para autoconsumo y venta; así mismo, la cantidad de mano de obra familiar y contratada. Todos los ingresos por autoconsumo y venta de leche, queso, animales, caucho y productos obtenidos para cada una de las fincas son variables que se asocian para encontrar la relación con las métricas del paisaje.

Relación de las métricas del paisaje y parámetros sociales y económicos

Se realizó un análisis de Hierarchical Classification on Principle Components para identificar las tipologías de fincas en cada una de las ventanas de producción y análisis de componentes principales para encontrar la relación entre los indicadores sociales y económicos basado en el paquete FactoMineR (Husson *et al.*, 2012) para el análisis exploratorio multivariado. Se utilizó un análisis de Co-inercia (Dolédec & Chessel, 1994) para estudiar las relaciones entre las variables sociales y económicas y las métricas del paisaje. El análisis de Co-inercia es un método multivariado que caracteriza a una medida global de acoplar dos o más tablas de datos (Dray *et al.*, 2003). Este método se basó en dos conjuntos de datos (indicadores económicos y las variables de fragmentación). El software utilizado fue ADE-4 (Dray & Dufour 2007; Chessel *et al.*, 2004; Thioulouse *et al.*, 1997) y FactoMineR los cuales están incluidos en el paquete R versión 2.15. (R Development Core Team, 2012) utilizando la plataforma independiente para análisis estadísticos R Commander (Fox, 2005).

Resultados y discusión

Clasificación coberturas

Las clasificaciones fueron realizadas teniendo en cuenta los datos estadísticos *Overall accuracy* y *Kappa Coefficient* que indican la exactitud de los píxeles que se agrupan a una clase (Cuadro 1). Igualmente se dividieron en áreas de bosque y no bosque; la primera clasificación fue realizada para la ventana agroforestal en la que predominan las coberturas: pastos de hondonada, monocultivos de pastos, rastrojos mayores a 10 años y pequeñas áreas de bosque explotado. En el sistema silvopastoril predominan los elementos de pastos con leñosas, rastrojos menores a tres años y pastos de hondonada. En la ventana tradicional de uso ganadero los elementos del paisaje corresponden en su mayoría a monocultivos de pastos, pastos de hondonada, rastrojos menores de tres años y una pequeña porción de bosque explotado. Las áreas de cobertura teledetectadas corresponden en total a doce clases: pastura limpia, pastura con vegetación leñosa, rastrojo menor de tres años, rastrojos de tres a cinco años, rastrojo de diez años, rastrojos de más de diez años, huerto habitacional, pastura de hondonada (pastos con humedales), bosque intervenido, arreglos agroforestales: caucho, cultivos (frutales), caucho manejado con ganadería, arreglo agroforestal: palma africana, frutales y rastrojo. La precisión de la estadística señala que los píxeles han sido bien agrupados a una clase. También para las tres ventanas se muestra que la exactitud total exhibe valores altos sobre el 90% de confiabilidad de los píxeles escogidos. El coeficiente de Kappa que toma valores entre 0 a 1, lo que se traduce en una acertada clasificación.

Métricas de composición y estructura del paisaje

Composición y estructura

En la clasificación a nivel de paisaje se teledetectan 12 clases, debido a que se toman puntos adicionales dado que en la imagen aparecen lugares cercanos a los puntos de muestreo que no corresponden a la firma espectral de

los clasificados. Para el caso de las métricas analizadas a nivel de finca, se optó por asociar cuatro (4) clases de cobertura correspondientes a rastrojos, las cuales se agruparon en dos grandes clases, con el fin de obtener un mejor análisis. De esta manera se analizan 9 clases de coberturas que componen el paisaje de las tres ventanas: pasto limpio (PL), pasto con árboles dispersos (PAD), pasto con leñosas (PCL), rastrojo joven (RJ), rastrojo viejo (RV), plantación agroforestal (SAF), plantación de palma africana (PP), huerto habitacional (SF) y plantación de arbustos forrajeros (PFN) (Figura 1).

El cuadro 2 sintetiza las métricas del paisaje calculadas para cada una de las 9 fincas por ventana y se observó que los valores de la ventana agroforestal son mayores en cuanto a densidad de parches (PD) y densidad de la riqueza de parches (PRD), con respecto a las otras ventanas. Lo anterior demuestra que el número de parches y clases por cada 100 hm² es mayor en esta ventana con respecto a las otras. Asimismo la densidad de borde (ED) tiene los valores altos en la ventana agroforestal, lo que indica que el paisaje es heterogéneo. En relación a la riqueza de parches (PR) se muestra que la ventana silvopastoril tiene un número mayor de clases, 8 en promedio; sin embargo no presenta diferencias significativas ($P < 0,0078$) con las otras ventanas. El índice de Shannon (SHDI) no presenta diferencias significativas entre las ventanas, sin embargo, las ventanas agroforestal y silvopastoril demuestran mayor uniformidad de las clases comparadas con la ventana tradicional de uso ganadero que presenta valores relativamente bajos.

Al realizar el análisis de componentes principales confirma para las métricas del paisaje, que la ventana agroforestal tiene los valores más altos en relación al tamaño del parche, densidad del parche y densidad de la riqueza del parche, valores significativamente diferentes de los sistemas tradicional de uso ganadero y silvopastoriles (Figura 2). En la ventana silvopastoril los índices más altos corresponden a la riqueza del parche (PR) y el Índice de Shannon, aunque este último no presenta diferencias significativas en relación a las otras ventanas dado que los valores para las tres ventanas es

Cuadro 1. Índices de precisión de clasificación de coberturas.

Clasificación	Índices de precisión de agrupación de clases			
	Overall Accuracy Bosque (%)	Kappa Coefficient Bosque	Overall Accuracy No - Bosque (%)	Kappa Coefficient No - Bosque
Agroforestal	84,8	0,78	95,5	0,94
Silvopastoril	99,3	0,98	93,0	0,89
Tradicional	94,3	0,92	94,0	0,89

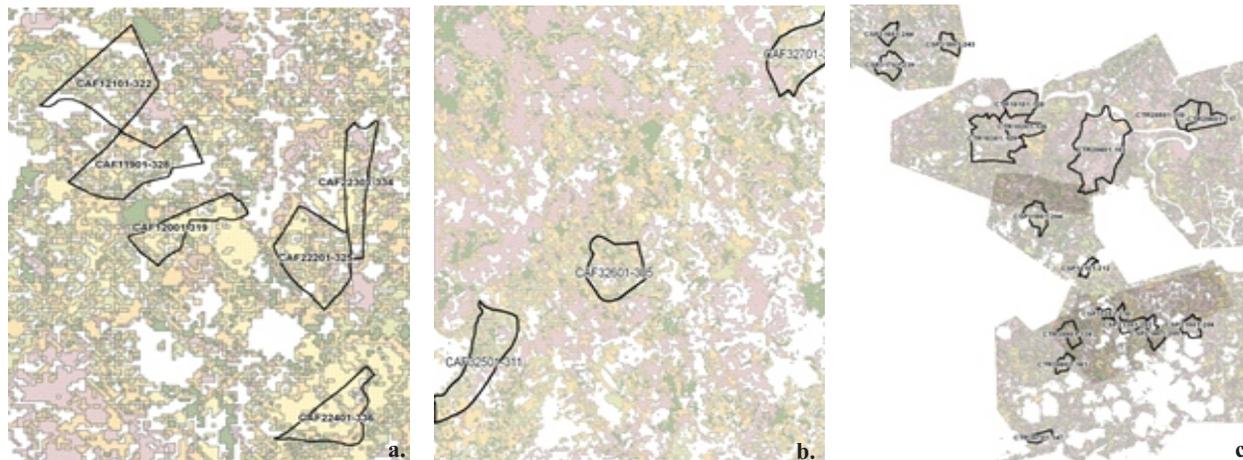


Figura 1. Mapas de métricas de paisaje que indican las fincas por ventana (polígonos en negro).

superior a 1 lo que indica que la distribución de las clases es uniforme (Terradillos, 2008). Los índices que se agrupan en la ventana tradicional de uso ganadero son el área total (TA), esto debido a que son fincas de gran tamaño donde predomina la ganadería extensiva, modelo que utiliza grandes extensiones de tierra en la implementación de pastos para el manejo del hato ganadero. Con esto se puede corroborar que la ventana agroforestal presenta mayores diferencias con la ventana tradicional de uso ganadero; y en términos de la ventana silvopastoril y de uso tradicional ganadero tienen una mayor transformación del paisaje y por lo tanto reducción de áreas conservadas a causa de la intervención antrópica; no obstante, existen clases que se encuentran en las tres ventanas.

Para la estructura o configuración del paisaje a nivel de clase solo se tuvo en cuenta el arreglo espacial de los elementos del paisaje en cada ventana. La ventana Agroforestal tiene un total de 195,8 hm² y el Silvopastoril y tradicional de uso ganadero tuvieron 461,4 y 1305 hm², respectivamente; las cuales corresponden a la sumatoria de cada una de las fincas donde se realizó el estudio. El cuadro 3 reporta la cobertura para cada ventana, se encontró diferencias significativas para todas las coberturas en las tres ventanas. Las pasturas (limpia y con leñosas) que tienen grandes áreas están agrupadas mayoritariamente en la ventana tradicional, también las mayores áreas de esta ventana corresponden a áreas en rastrojos joven y viejo. La ventana Silvopastoril indica valores altos con relación a las clases huerto habitacional y plantación de arbustos forrajeros que son parches medianos en el paisaje y la agroforestal con plantación de palma africana y plantación agroforestal de caucho que son parches más pequeños. Cabe destacar que la clase Palma africana no se encuentra en las ventanas tradicional y silvopastoril y que para la ventana agroforestal no se encontraron las clases huerto habitacional y plantación de arbustos forrajeros. Sin

embargo, la mayoría de clases se distribuyen alrededor de las tres ventanas.

Cuadro 2. Índices de composición del paisaje a nivel de finca por sistema de producción: CAF=Sistema Agroforestal; CSP=Sistema Silvopastoril y CTR=Sistema Tradicional de uso ganadero.

Paisaje	PD	ED	PR	PRD	SHDI
CAF1	577,34	524,27	8	46,65	1,68
CAF2	519,48	369,47	7	74,21	1,26
CAF3	559,51	483,24	8	42,23	1,74
CAF4	508,96	490,46	7	40,49	1,68
CAF5	551,72	432,18	8	81,74	1,75
CAF6	501,46	354,60	8	71,64	1,38
CAF7	495,65	519,14	8	18,79	1,77
CAF8	427,51	503,22	8	26,11	1,66
CAF9	264,76	354,48	7	17,99	1,56
CSP1	207,01	319,81	8	10,62	1,76
CSP2	228,14	255,55	8	32,02	1,45
CSP3	199,01	233,17	8	53,07	1,17
CSP4	226,33	323,18	9	14,98	1,69
CSP5	192,67	313,69	8	12,95	1,66
CSP6	153,08	294,25	7	13,23	1,54
CSP7	222,95	363,30	8	17,84	1,71
CSP8	217,33	338,69	8	10,47	1,75
CSP9	244,07	339,20	8	16,00	1,72
CTR1	142,92	273,93	6	5,39	1,31
CTR2	126,42	225,27	6	5,27	1,17
CTR3	142,25	283,94	6	2,08	1,44
CTR4	81,37	196,80	9	1,82	1,14
CTR5	195,12	331,46	6	7,41	1,41
CTR6	128,11	293,08	6	6,68	1,34
CTR7	133,41	250,76	4	12,13	1,23
CTR8	273,17	382,58	6	16,72	1,63
CTR9	221,78	339,10	9	15,84	1,78

PD: Densidad de parche; FD: Densidad de borde; PR: Riqueza de parche; PRD: Densidad de la riqueza de parche; SHDI: Índice de Shannon.

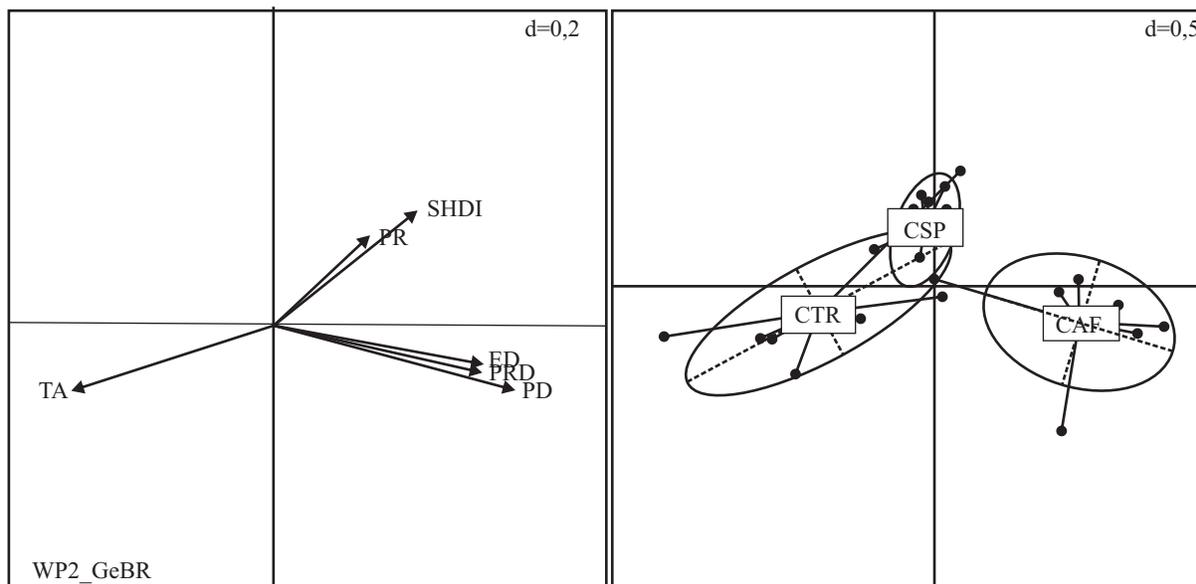


Figura 2. Análisis de componentes principales para métricas del paisaje.

De esta manera para las ventanas de estudio, las clases representativas encontradas corresponden a: Agroforestal: plantación agroforestal de caucho (22,6%), Pasto con árboles dispersos (22,4%) y rastrojo viejo (18,7%); Silvopastoral: pastura limpia (21,6%), plantación de arbustos forrajeros (20,4%) y huerto habitacional (12,4%); Tradicional de uso ganadero: Pastura limpia (38,7%), rastrojo viejo (26,2%) y pastura con árboles dispersos (9,5%). Se destaca que tanto para la ventana agroforestal como la tradicional de uso ganadero se encuentra áreas de rastrojo viejo, que son mayores en la ventana tradicional, estos se pueden entender por las extensas áreas de tierra que maneja el sistema tradicional que se basa en la expansión de la frontera agrícola con el fin de implementar praderas para ganadería extensiva.

Así mismo la ventana agroforestal y silvopastoral tienden a tener un paisaje heterogéneo, donde también se pueden encontrar áreas en pasturas al igual que otros sistemas de producción que diversifican el paisaje.

También se debe mencionar que las fincas muestreadas para la ventana agroforestal corresponden a áreas pequeñas con un promedio por finca de 21 hm², con relación a las otras ventanas. Dado que la ventana silvopastoral y la tradicional de uso ganadero tiene un promedio de 51 y 145 hm², respectivamente. Para el análisis de componentes principales se muestra una particularidad para el caso de la ventana agroforestal, al observarse una clase que se agrupa únicamente para este sistema, la cual corresponde a la plantación de palma

Cuadro 3. Distribución de las clases por ventana, representado en hm².

Variable		CAF	CSP	CTR	P-value
		Media ± E.E.	Media ± E.E.	Media ± E.E.	
No datos	CA0	4,63 ± 1,48	12,67 ± 1,48 ^a	28,55 ± 12,06 ^b	
Pastura limpia	CA1	2,28 ± 0,95 ^a	11,4 ± 2,30 ^a	67,88 ± 30,36 ^b	0,0298
Pasto con leñosas	CA3	1,65 ± 0,57 ^b	0,21 ± 0,12 ^a	1,09 ± 0,35 ^{ab}	0,0470
Pasto con árboles dispersos	CA4	5,24 ± 1,30 ^a	0,28 ± 0,24 ^b	13,50 ± 4,48 ^b	0,0070
Huerta habitacional	CA6	0,00 ± 0,00 ^a	7,03 ± 1,52 ^a	0,61 ± 0,40 ^{ab}	<0,0001
Palma africana	CA9	0,49 ± 0,16 ^b	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a	0,0013
SAF-caucho	CA10	3,13 ± 0,61 ^b	1,38 ± 0,51 ^a	0,33 ± 0,30 ^a	0,0018
Arbusto forrajeros	CA11	0,00 ± 0,00 ^a	11,14 ± 2,15 ^b	1,32 ± 1,00 ^a	<0,0001
Rastrojo joven	CA12	0,11 ± 0,04 ^a	0,97 ± 0,30 ^a	2,67 ± 0,77 ^b	0,0032
Rastrojo viejo	CA13	4,24 ± 1,04 ^a	6,20 ± 1,34 ^a	29,07 ± 7,08 ^b	0,0005

^{a,b} Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente.

CAF: Sistema agroforestal; CSP: Sistema silvopastoral; CTR: Sistema tradicional de uso ganadero

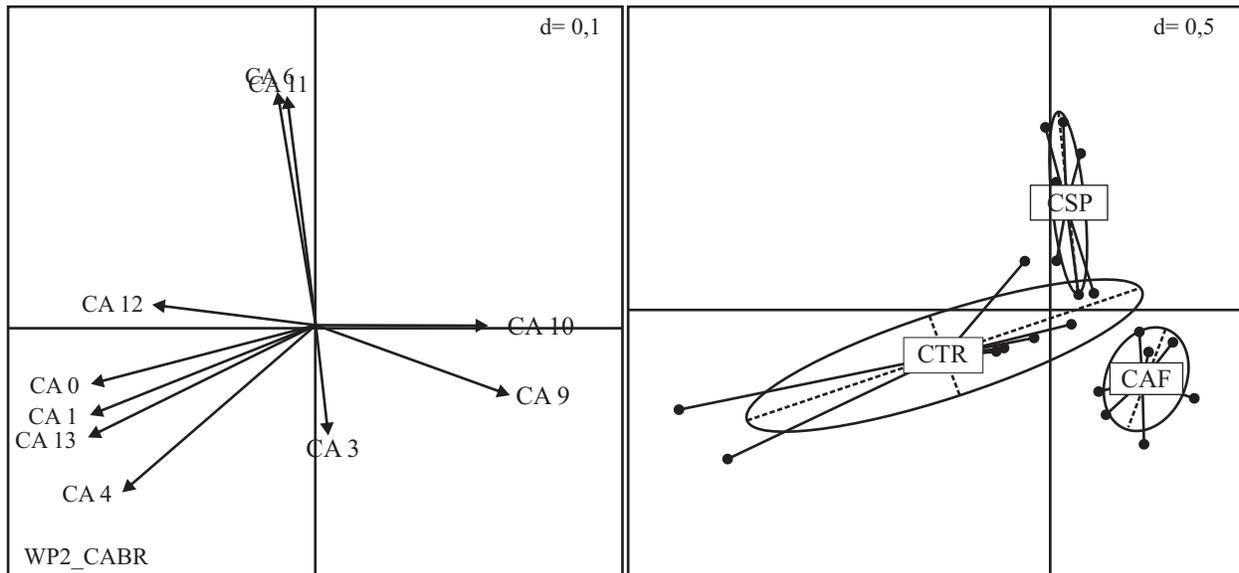


Figura 3. Análisis componentes principales que indican la distribución de las clases por cada ventana.

africana, estos datos concuerdan con los encontrados en campo; de manera equivalente se encuentra la clase de plantación agroforestal de caucho para la misma ventana. La ventana silvopastoril agrupa dos clases principalmente que coinciden con el porcentaje del paisaje para cada ventana detallado anteriormente, y el mismo caso sucede para la ventana tradicional de uso ganadero, que señala áreas en pasto y rastrojo (Figura 3). Sin embargo para esta última ventana y para la agroforestal se presenta una clase que se distribuye en las mismas: Pastura con leñosas arbustivas, que se encuentra mayoritariamente en la ventana agroforestal con un 15% y para la tradicional con un 10% de representatividad.

Se resalta para la pastura con leñosas arbustivas que está dominada por especies nativas con árboles y arbustos entre los que se encuentran: Cedro (*Cedrela odorata* L.), Yarumo (*Cecropia membranacea* Trécul), Guamo (*Inga* sp.), Arrayán (*Myrtus* spp.), Ahumado (*Minuartia guianensis* Aubl.), Abarco (*Cariniana pyriformis* Miers), Laurel (*Laurus nobilis* L.), Guamo macheto (*Inga spectabilis* (Vahl) Willd.), Caimo (*Pouteria caimito* (Ruiz & Pav.) Radlk.), Balso (*Ochoroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.); especies de valor porque algunas de ellas son maderables nativos que están amenazados por los procesos de deforestación. En cuanto a la palma africana se presenta en la Amazonia colombiana como un monocultivo y tiene tendencia a disminuir; el cultivo es explotado en un solo municipio del departamento del Caquetá. Las plantaciones de palma africana, a escala comercial se encuentran en la ventana agroforestal, donde también se asocian con frutales amazónicos cerca

de áreas de grandes plantaciones de caucho.

Análisis social y económico

Se presentaron diferencias significativas para algunas variables entre tipologías de fincas (Cuadro 4). Entre las variables de uso del suelo, el área de rastrojos ($P < 0,0435$), SSP-ADP ($P < 0,0001$), pasturas degradadas ($P < 0,0001$), bancos de proteína ($P < 0,0109$), silvoagrícolas ($P < 0,0001$) y cultivos ($P < 0,0001$). En la ventana agroforestal se encontró en promedio 26,12 hm^2 en sistemas silvoagrícolas, el cual fue diferente estadísticamente a las demás ventanas considerados como áreas sembradas en asociaciones de caucho con cacao y especies frutales, los cuales generan ingresos a las familias y aumentan la conectividad en el paisaje. En la figura 4 se muestra el análisis *Hierarchical Classification on Principle Components* para identificar la tipología de fincas.

Por ser fincas bajo el sistema de doble propósito, la cobertura de pasturas es similar a lo reportado por Estrada & Holmann (2008), donde el 80% del área de las fincas están dedicadas a este uso y orientados a la producción de leche. Los resultados encontrados sugieren, en general, que la ganadería de esta zona de Colombia se basa con un sistema alimentario en las pasturas, por ser una posibilidad económica. La situación que se encontró en esta zona es similar a la encontrada por Cruz (2007) y Suárez (2009), en donde los productores grandes se asociaron con la producción de leche o carne, los medianos se relacionaron con la lechería y la producción

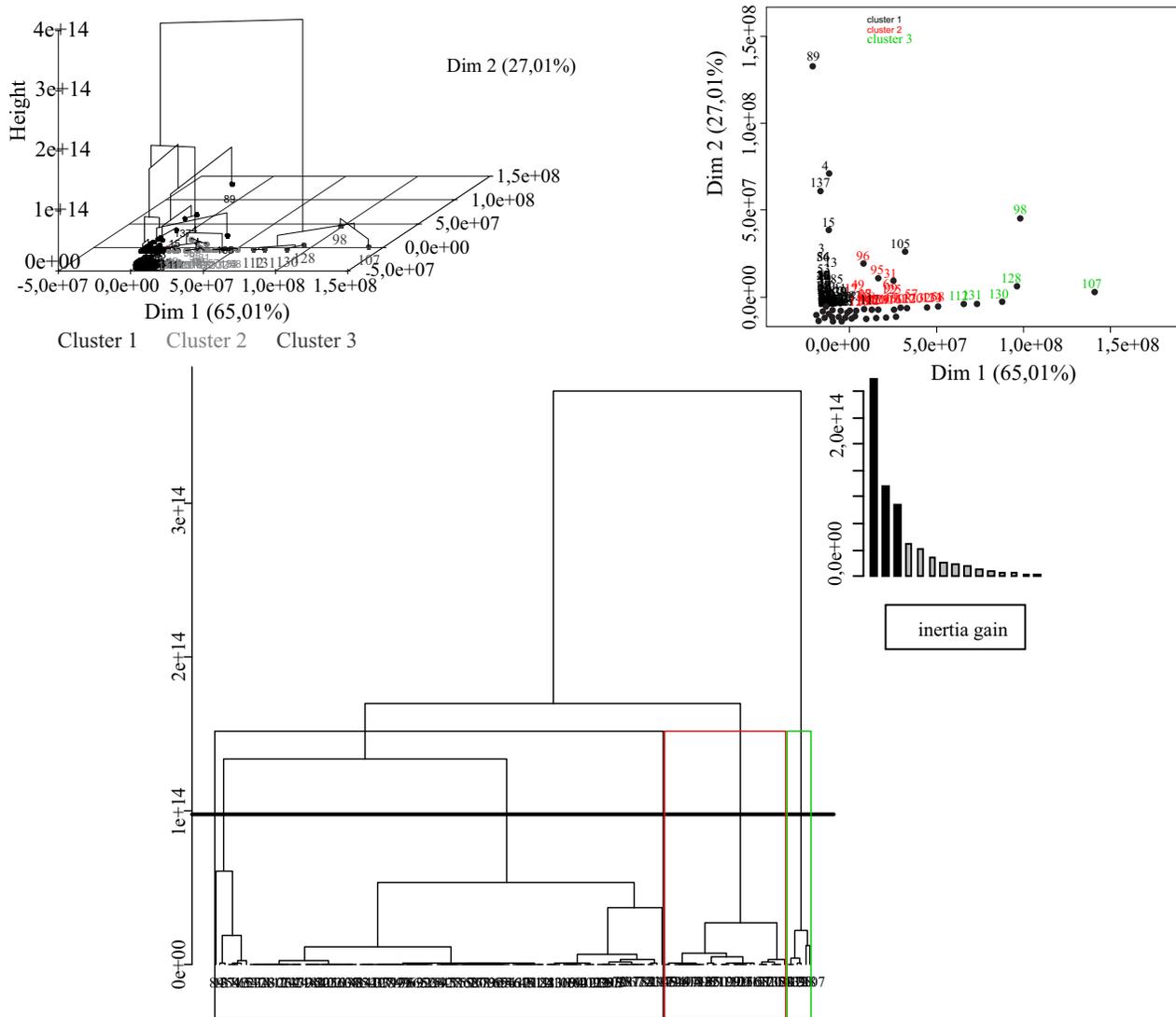


Figura 4. Análisis Hierarchical Classification on Principle Components para identificar la tipología de fincas.

del doble propósito, mientras que los pequeños se orientaron principalmente a la producción de leche.

Por la dinámica presentada en la Amazonia, donde se inició con la tumba y quema del bosque, siguió con la siembra de cultivos “colonizadores” como maíz y arroz, y posteriormente potreros para la ganadería, los cuales por la pérdida de la capacidad agronómica han sido transformados en SSP-ADP, pasturas degradadas, rastrojos, bancos de proteína y cultivos. Esta dinámica se presenta en las áreas de estudio.

Suárez *et al.* (2011) y Villacís *et al.* (2003) reportan una

intensificación de la producción ganadera debido a una oferta de alimento mayor traducido en el incremento de la carga animal; en este estudio la ventana silvopastoril presentó una mayor CA pero no existe correlación con áreas de producción de alimento y es contrario a lo planteado por Argel (2006) quien afirma que el efecto de las pasturas mejoradas se nota en la mayor carga animal. Magaña *et al.* (2006) reportan que la carga animal varía de menos de 0,5 a 3,5 unidades animales por hm^2 al año cuando son manejados bajo sistemas de pastoreo rotacional, con mínimo suplemento durante la época seca; condiciones similares a los encontrados en las fincas del presente estudio. En este estudio los finqueros

Cuadro 4. Variables socioeconómicas en las tres ventanas.

Componente	Variable	Unidad	Agroforestería		Convencional		Silvopastoril		P-value
			Media	± E.E.	Media	± E.E.	Media	± E.E.	
Uso del suelo	Tamaño de finca	hm ²	71,40	± 26,00	85,59	± 12,76	43,97	± 11,33	
	Bosque		10,69	± 5,27	13,68	± 6,89	9,79	± 5,68	
	<u>Rastrojo</u>		<u>4,79</u>	± <u>1,13^a</u>	<u>16,23</u>	± <u>4,47^b</u>	<u>11,33</u>	± <u>3,23^{ab}</u>	<u>0,0435</u>
	<u>SSP-ADP</u>		<u>2,58</u>	± <u>0,61^b</u>	<u>10,42</u>	± <u>2,85^a</u>	<u>8,44</u>	± <u>5,76^{ab}</u>	<u><0,0001</u>
	<u>Pasturas degradadas</u>		<u>4,75</u>	± <u>2,42^a</u>	<u>11,56</u>	± <u>4,27^a</u>	<u>27,84</u>	± <u>7,40^b</u>	<u><0,0001</u>
	Pastos limpios		74,78	± 34,10	64,28	± 11,88	25,25	± 9,38	
	Pasturas arriendo		5,00	± 0,00	70,29	± 22,64	32,00	± 0,00	
	Bancos de energía		1,42	± 0,33	1,38	± 0,18	1,61	± 0,47	
	<u>Bancos de proteína</u>		<u>0,92</u>	± <u>0,25^a</u>	<u>3,00</u>	± <u>0,00^b</u>	<u>0,67</u>	± <u>0,17^{ab}</u>	<u>0,0109</u>
	<u>Silvoagrícolas</u>		<u>26,12</u>	± <u>1,75^a</u>	<u>7,14</u>	± <u>0,86^b</u>	<u>8,20</u>	± <u>2,44^b</u>	<u><0,0001</u>
	<u>Cultivos</u>		<u>10,11</u>	± <u>1,41^b</u>	<u>2,59</u>	± <u>0,49^a</u>	<u>3,20</u>	± <u>0,77^a</u>	<u><0,0001</u>
Hato ganadero	<u>Carga animal</u>	<u>animal hm⁻²</u>	<u>1,14</u>	± <u>0,09^a</u>	<u>1,25</u>	± <u>0,12^a</u>	<u>1,95</u>	± <u>0,30^b</u>	<u>0,0047</u>
	Animales totales	animal	99,48	± 48,16	68,67	± 13,76	39,90	± 11,30	
	Machos		18,29	± 8,52	10,32	± 5,14	7,38	± 2,71	
	Hembras		42,85	± 20,80	34,24	± 5,68	27,17	± 9,65	
	Terneros		44,04	± 22,88	26,30	± 5,65	15,11	± 3,64	
	Venta de machos		13,60	± 7,54	35,67	± 17,96	3,50	± 1,50	
	Venta de novillas		8,00	± 4,00	14,19	± 4,10	14,50	± 11,84	
	Venta de terneros		25,37	± 14,36	16,17	± 4,58	18,40	± 12,93	
	Animales al partir		20,82	± 5,31	37,50	± 7,81	25,43	± 7,19	
Mano de obra	Familia contratada	persona.día ⁻¹	<u>4,15</u>	± <u>0,42^b</u>	<u>2,00</u>	± <u>0,53^a</u>	<u>3,21</u>	± <u>0,35^{ab}</u>	<u>0,0116</u>
			1,66	± 0,29	1,84	± 0,24	1,42	± 0,13	
	Familia contratada	jornal.año ⁻¹	1516,15	± 153,78 ^b	730,00	± 195,10 ^a	1171,84	± 126,62 ^{ab}	0,0116
			604,14	± 107,59	672,37	± 89,42	517,08	± 48,72	
Jornales	total.año ⁻¹		1163,44	± 196,28	930,75	± 174,60	1284,26	± 150,12	
	total.hm ⁻¹		44,98	± 13,11 ^a	9,31	± 1,96 ^a	170,35	± 73,77 ^b	0,0378
Producción	Producción <u>Autoconsumo</u>	litros leche.año ⁻¹	21570,22	± 6569,62	21979,07	± 3928,78	18547,77	± 7230,10	
	<u>Comercio</u>		<u>549,06</u>	± <u>86,39^a</u>	<u>847,33</u>	± <u>75,83^b</u>	<u>985,85</u>	± <u>165,47^b</u>	<u>0,0186</u>
			<u>21164,39</u>	± <u>6544,15^b</u>	<u>23912,24</u>	± <u>4204,84^c</u>	<u>9794,50</u>	± <u>2514,41^a</u>	<u>0,0146</u>
	Producción <u>Autoconsumo</u>	kg queso.año ⁻¹	3102,50	± 0,00	143,25	± 39,25			
		182,50	± 0,00	104,00	± 0,00				
		2920,00	± 0,00	182,50	± 0,00				
Especies menores	Cerdos	animal	4,06	± 0,91	4,00	± 0,00	19,19	± 9,19	
	Aves		25,75	± 2,64	83,75	± 43,37	49,50	± 19,64	
	<u>Peces</u>		<u>600,00</u>	± <u>155,84^a</u>	<u>6983,33</u>	± <u>1839,91^b</u>	<u>869,23</u>	± <u>195,26^a</u>	<u><0,0001</u>
Ingresos	<u>Agrícola</u>	millones	<u>23,87</u>	± <u>3,61^a</u>	<u>4,59</u>	± <u>1,17^b</u>	<u>6,37</u>	± <u>1,60^b</u>	<u><0,0001</u>
	Ganadería		5,74	± 1,91 ^a	10,33	± 1,93 ^b	6,76	± 3,08 ^a	0,0023
	Total		29,61	± 4,27 ^a	14,92	± 2,20 ^b	13,13	± 3,28 ^b	0,001

^{ab} Valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente.

grandes presentaron la menor carga animal contrario a lo presentado por Schoonhoven *et al.* (2005) y Holmann & Rivas (2005) para Honduras, donde señalan que los productores grandes y fincas ganaderas comerciales presentan una mayor carga animal que el resto de los productores ganaderos (medianos, pequeños y de subsistencia).

En estas fincas el principal objetivo de producción para las parcelas es la ganadería, pero simultáneamente en algunas fincas se trabaja con especies menores como los cerdos, aves y peces para fines de comercialización y autoconsumo. Esta iniciativa de diversificación de la producción de las granjas a partir de la explotación de diferentes especies animales, es una práctica que debe

incentivarse por la capitalización del beneficio social y económico que representa para el productor. La piscicultura ha cobrado importancia; esto se debe a la facilidad de establecimiento porque no se tiene la limitante del agua como en otras regiones de Colombia. Además del producto para consumo familiar quedan excedentes para la venta en los mercados locales y con ello se pueden obtener ingresos adicionales. Se encontró diferencias significativas ($P < 0,001$) en cada una de las variables de rendimiento y en las variables de disponibilidad de mano de obra. La mano de obra familiar, la cantidad de jornales existentes por hm^2 en el año es mayor en las fincas de mayor tamaño, contrario a lo reportado por Rüginitz (2004).

Relación entre el uso del suelo y los parámetros sociales y económicos

La interacción entre las diferentes ventanas de sistemas de producción explica 58,9% a partir de las dos primeras CP, según lo muestran los autovalores. Se encontró una alta relación entre las variables de paisajes como PD, ED y PRD con los ingresos obtenidos por sistemas agroforestales (SAF-caucho y plantaciones de palma) en la ventana agroforestal, lo cual quiere decir que estos sistemas además de aumentar la conectividad del paisaje permiten mejorar los ingresos de las familias. Estos sistemas permiten tener relación entre las interacciones

ecológicas y económicas que se reflejan en la ecoeficiencia del paisaje. Por otro lado, se encontró una relación entre la métrica de paisaje TA, ingreso por ganadería y uso del suelo como CA1 y CA13 que indican que las áreas de los polígonos son grandes para estos usos comparados con las otras ventanas, siendo paisajes fragmentados con alta homogeneidad (Figura 5).

El análisis de los componentes del paisaje a través de los Sistemas de Información Geográfica, la integración de los parámetros sociales y económicos, la descripción de coberturas y los datos recolectados en campo, permiten tener un diagnóstico real de los sistemas de producción que se encuentran en la Amazonia colombiana deforestada, donde se identifican las coberturas representativas de la zona y la vez evidencian los procesos sociales y económicos que construyen los agropaisajes, no obstante y de acuerdo a lo planteado por Arroyo *et al.* (2005) y Burel & Baudry (2005), los paisajes rurales influenciados por las actividades agrícolas presentan una configuración que es dinámica y heterogénea a diversas escalas temporales y espaciales.

Las clases de coberturas que se encontraron en las ventanas de estudio tienen algunos usos diferentes; sin embargo, la mayoría de clases se encuentran en todas las ventanas, lo que indica para algunas mayor o menor proporción de acuerdo a la dinámica social y económica,

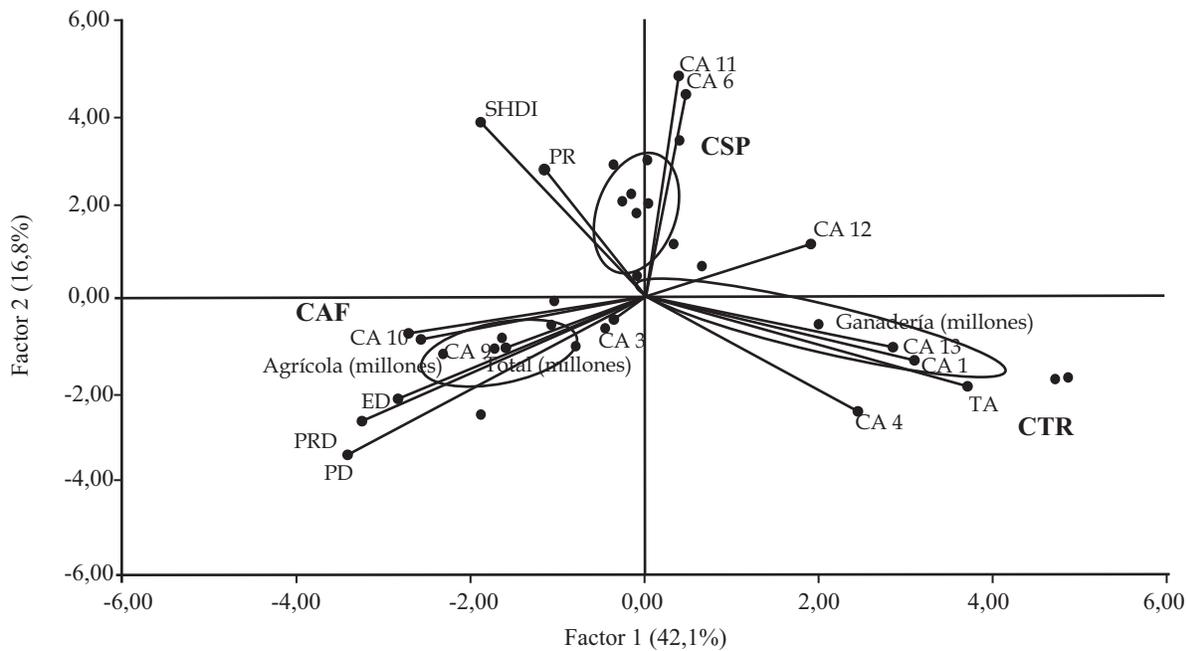


Figura 5. Tri-plot de la correlación entre una matriz de interacción entre variables de ingresos versus matriz de nueve variables de uso de suelo. CAF: Ventana Agroforestal, CSP: Ventana Silvopastoril y CTR: Ventana Tradicional de Uso Ganadero.

pues las áreas grandes corresponden a manejo de ganadería extensiva mientras que las áreas pequeñas son trabajadas en producciones agrícolas de pequeña escala donde predominan las actividades de subsistencia.

Aunque la ventana tradicional de uso ganadero presenta un mayor porcentaje de área en rastrojo viejo (que es un área que se ha regenerado por alrededor de unos 10 años) con respecto a la ventana agroforestal, se debe tener en cuenta que las áreas de la ventana CTR son mayores que las ventanas agroforestal y silvopastoril, por su misma dinámica de grandes extensiones de tierra para su producción, además de estar muy distantes entre sí; de modo que la correlación entre los tres sistemas para determinar el patrón del paisaje puede ser subjetiva. Otro aspecto importante a tener en cuenta según Vilchez (2009) es que los patrones detectados en un mosaico ecológico es una función de la extensión y el tamaño de las unidades individuales de observación. La estructura y composición de un paisaje puede estar afectado por la extensión y la unidad de observación o grano, lo cual tiene implicaciones serias para el análisis y la medición dado que estas métricas de paisaje son sensibles al cambio de la extensión y el grano. Zamora (2006) resalta la importancia de definir una escala al considerar los patrones del paisaje, debido a que esto permite hacer un análisis de diferentes aspectos a través de métodos cuantitativos.

A pesar de que se había dicho que la imagen tenía un recubrimiento de nubes relativamente bajo, cuando se efectuaron los recortes de la imagen para los sitios de muestreo, se encontró en la cartografía que para las zonas de estudio donde se describieron los elementos del paisaje contenían muchas nubes, lo que tiene un impacto en el cálculo de métricas, significa que el patrón del paisaje puede ser objeto de una advertencia. En el cálculo de métricas se tuvo en cuenta áreas de “no data” que son las correspondientes a las zonas cubiertas por nubes.

Uno de los problemas encontrados en la clasificación y determinación de las métricas fue el catastro, que en algunas ocasiones no calaba en los polígonos de las fincas, este problema se presentó por la cartografía desactualizada, y aunque se trabajó con la cartografía oficial del país (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) se efectuaron correcciones a los polígonos con la información georreferenciada que el equipo de trabajo realizó en cada una de las fincas muestreadas.

Los índices que se agrupan en la ventana tradicional de uso ganadero son el área total (TA) esto debido a que son fincas de gran tamaño donde predomina la ganadería

extensiva, modelo que utiliza grandes extensiones de tierra en la implementación de pastos para el manejo del hato ganadero. Las fincas correspondientes a la ventana agroforestal, a pesar de tener un tamaño pequeño presentan una producción diversificada que se ve representada en mayores ingresos y un modelo sostenible en el tiempo.

De esta manera los sistemas agroforestal y silvopastoril presentan mayor heterogeneidad con relación al tradicional de uso ganadero. Lo que indica según Silva Ecosystems Consultants (1992), que la heterogeneidad del paisaje o la diversidad, es esencial, debido por ejemplo a que la diversidad del paisaje es requerida para la persistencia de especies animales y es una característica positiva en muchos paisajes. Diversos hábitats proveen diversos recursos; extrema diversidad puede resultar en efectos negativos, sin embargo, si las áreas de hábitats se convierten muy pequeñas pueden ser efectivas.

De acuerdo con McGarigal *et al.* (2002) muchos de los índices de clases y paisaje son procesados desde las estadísticas de parche y clase al sumar o promediar sobre todas las clases o parches, siendo así que muchos de estos índices en los dos niveles representan la misma información fundamental; sin embargo, aun cuando muchos de los índices tienen contrapartes en niveles de clase y de paisaje, las interpretaciones pueden ser algo diferentes. Lo que se demuestra con el caso de la riqueza de parches que mide el número de tipos de parches presentes, sin embargo, dos paisajes pueden tener diferentes estructuras aun teniendo la misma riqueza. Esto pasa en las tres ventanas donde no hay diferencias significativas en relación a la riqueza de parches, puesto que la mayoría de clases se presentan en las tres ventanas, pero existen algunas dominantes y propias de cada ventana que no se encuentran en las otras. Los mismos autores mencionan que la riqueza es parcialmente una función de escala, puesto que áreas grandes son generalmente ricas porque hay heterogeneidad, sin embargo, comparar la riqueza entre paisajes que varían en tamaño puede ser problemático. En este estudio la mayor heterogeneidad está representada en las clases encontradas en las ventanas silvopastoril y agroforestal, no obstante, las áreas de las clases son más pequeñas que la de tradicional de uso ganadero.

Los sistemas agroforestales son una alternativa de manejo sostenible porque son arreglos diversificados que proveen recursos y hábitats a las especies que no son capaces de sobrevivir en paisajes agropecuarios (Zamora, 2006); además de existir interacciones

ecológicas también hay un beneficio económico entre los diferentes componentes como lo indica Andrade (1990). Igualmente Current (1997) subraya la rentabilidad como beneficio de los sistemas agroforestales a las comunidades rurales, pues es mayor a la de otras alternativas agrícolas y han generado beneficios ambientales y sociales para las comunidades rurales y para la sociedad. Sin embargo, la rentabilidad y adopción dependen de las condiciones biofísicas, sociales y económicas propias de cada comunidad. Asimismo los sistemas silvopastoriles, entendidos como una modalidad de la agroforestería en la que se combinan en el mismo espacio plantas forrajeras como gramíneas y leguminosas rastreras con arbustos y árboles destinados a la alimentación animal y usos complementarios (Murgueitio, 2005), es un modelo sostenible dado que interactúan con componentes tradicionales bajo un sistema de manejo integral, que ayuda a mantener la diversidad en los paisajes ganaderos, además de preservar cierto nivel de conectividad del paisaje y mejoramiento del recurso hídrico en comparación con las pasturas solas (Suárez, 2009).

Aunque este estudio no realizó un análisis de las dinámicas territoriales, integró parámetros sociales y económicos a la composición y estructura del paisaje, con la finalidad de entender la relación que existe entre el paisaje y las estructuras sociales que lo componen, ya que los diferentes agropaisajes están dados por la intervención antrópica. Sin embargo, como lo enuncia Oszwald *et al.* (2011) es importante comprender la complejidad de los mosaicos paisajísticos, de modo que sea más integral y vincule dinámicas ambientales y sociales para mejorar las políticas de manejo. Asimismo realizar un análisis multitemporal que permita conocer los procesos de deforestación y la importancia del paisaje en términos de servicios ecosistémicos.

Literatura citada

Andrade, A. 1990. Sistemas Agrícolas tradicionales en el medio Río Caquetá. Instituto Colombiano de Antropología. En la selva humanizada. CIAF-IGAC. 59-81 pp.

Argel, P. J. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 14(2): 65-72.

Arroyo M., J. P.; Sánchez A., G. A.; Rivard, B.; Calvo, J. C. & Janzen, D. H. 2005. Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000. En: Agriculture, Ecosystems and Environment. 106:27-39.

Badii, M. H. & Landeros, J. 2007. Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con sustentabilidad. En: Daena: International Journal of Good Conscience. 2(1).

Berlanga R., C. A. & Ruiz L., A. 2007. Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat. 23(1): 29-46.

Burel, F. & Baudry, J., 2005. Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: The role of land use systems at various scales in time. En: Ecological Indicators 5. pp. 305-313.

Campbell, J. 2001. Digital Image Classification. Geography 4354–Remote Sensing. 13 pp.

Chessel, D.; Dufour, A. B. & Thioulouse, J. 2004. The ade4 package-I- One-table methods. R News. 4: 5-10.

Cruz, E. 2007. Estudio sobre la interacción entre la biodiversidad y el bienestar de los productores ganaderos para la implementación de sistemas silvopastoriles en Copán-Honduras. Tesis M.Sc. Turrialba CR. 128 pp.

Current, D. 1997. ¿Los sistemas agroforestales generan beneficios para las comunidades rurales? Resultados de una investigación en América Central y el Caribe. Revista Agroforestería en las Américas 4 (16): 8-14.

Dolédéc, S. & Chessel, D. 1994. Co-inertia analysis: an alternative method for studying species environment relationships. Freshwater Biology, 31: 277-294.

Dray, S.; Chessel, D. & Thioulouse, J. 2003. Co-inertia analysis and the linking of the ecological data tables. Ecology, 84(11):3078-3089.

Dray, S. & Dufour, A. B. 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. Journal of Statistical Software. 22(4): 1-20.

Eiden, G.; Kayadjanian, M. & Vidal, C. 2000. Capturing landscape structures: Tools. From land cover to landscape diversity in the European Union. DR AGRI, EUROSTAT and ISPRA. 1-10 pp.

ENVI (Environment for Visualizing Images). 2003. User's guide. September, 2003 Edition. Consultado www.excelvis.com/docs/using-envi-home.html.

Estrada, R. & Holmann, F. 2008. Competitividad de los Pequeños Productores de Leche frente a los Tratados de Libre Comercio en Nicaragua, Costa Rica y Colombia. Centro Internacional d Agricultura Tropical (CIAT), International Livestock Research Institute (ILRI). Cali, Colombia. 70 pp. (Documento de Trabajo no. 207).

Forman, R. & Godron, M. 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. American Institute of

Biological Sciences. *BioScience*, 31 (10): 773-740.

Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1-42.

Gardner, R. H.; O'Neill, R. V.; Turner, M. G. 1993. Ecological implications of landscape fragmentation. In: Pickett, T.; McDonnell, M. G. (Eds). *Humans as components of ecosystems: subtle human effects and ecology of population areas*. Springer-Verlag, New York.

Holmann, F.; Rivas, L. 2005. Los forrajes mejorados como promotores del crecimiento económico y la sostenibilidad: el caso de los pequeños productores de Centroamérica. Cali, CO, CIAT. (Documento de trabajo 202). 70 pp.

Husson, F.; Josse, J.; Le, S. & Mazet, J. 2012. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R. R package version 1.18. <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>.

Magaña, J.; Ríos, G. & Martínez, J. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14 (3): 105-114.

Marín, A. L.; Toro, L. J. & Uribe, S. I. 2008. Conectividad estructural del paisaje cafetero en la cuenca alta del río San Juan, Suroeste Antioqueño, Colombia. En: *Boletín de ciencias de la tierra*. Número 23.

McGarigal, K.; Cushman, S. A.; Neel, M. C. & Ene, E. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. www.umass.edu/landeco/research/fragstats.html.

Murqueitio, E. 2005. Sistemas silvopastoriles en el trópico de América. Libro de Actas Silvopastoralismo y Manejo Sostenible En: España ISBN: 84-96351-03-3 ed: Unicopia Lugo, v.1, p.151.

Oszwald, J.; Lefebvre, A.; Arnaud de Sartre, X. & Thalès, M., Gond, V. 2010. Analyse des directions de changements des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (Para, Brésil) entre 1997 et 2006, *Revue Télédétection*, 9: 97-111.

Oszwald, J.; Gond, V.; Dolédec, S. & Lavelle, P. 2011. Identification d'indicateurs de changement d'occupation du sol pour le suivi des mosaïques paysagères, Bois et Forêts des Tropiques, 307: 7-21.

Pinto L., J. N. 2006. Ecología del paisaje en el municipio de San Julian, departamento de Santa Cruz-Bolivia. Tesis Lic. en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma "Grabiél René Moreno" Santa Cruz Bolivia. 90 pp.

R Development Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical Computing Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.r-project.org>.

Rügnitz, M. T. 2004. Efectos de la incorporación de tecnologías silvopastoriles sobre la demanda de mano de obra y la rentabilidad de las fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. M.Sc. CATIE, Turrialba - Costa Rica 119 pp.

Sabins, F. F. 1996. Remote Sensing: Principles and Interpretation. New York: W.H. Freeman & Company. 485 pp.

Schoonhoven, A. D.; Holmann, F.; Argel, P.; Pérez, E.; Ordóñez, J. C. & Chávez, J. 2005. Costos y beneficios del suministro de heno y ensilaje durante la época seca en Honduras y Costa Rica. CIAT-ILRI. 34 pp. (Documento de trabajo. No. 203).

Silva Ecosystem Consultants. 1992. Landscape ecology literature review. 23 pp.

Suárez, J. C. 2009. Análisis de rentabilidad en los sistemas tradicionales de producción y la incorporación de los sistemas silvopastoriles en fincas de doble propósito, Matagalpa, Nicaragua. Tesis Mag. M.Sc. CATIE, Turrialba - Costa Rica. 105 pp.

Suárez, J. C.; Ibrahim, M.; Villanueva, C. & Sepúlveda, C. 2011. Impacto de los sistemas silvopastoriles en la producción y rentabilidad de fincas ganaderas de doble propósito en el trópico subhúmedo de Nicaragua. En: Villanueva, C.; Sepúlveda, C.; Ibrahim, M. (Eds). Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganadería. Serie técnica. Informe técnico no. 387. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE Turrialba, Costa Rica. 113-131 pp.

Terradillos T., A. 2008. Estudio de la calidad del hábitat y la capacidad biocinegética del coto de caza mayor "Las Jarillas" (El Pedroso, Sevilla). Universitat de Lleida. 258 pp.

Thioulouse, J.; Chessel, D.; Dolédec, S. & Olivier, J. M. 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Stat. Comput.* 7: 75-83.

Vilchez, S.J. 2009. Efecto de la composición y estructura del paisaje y del hábitat sobre distintos grupos taxonómicos en un agropaisaje en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. M.Sc. CATIE, Turrialba - Costa Rica 121 pp.

Villacís, J.; Harvey, C. A.; Ibrahim, M. & Villanueva, C. 2003. Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frio, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40):17-23.

Zamora L., S. 2006. Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y el

stock de carbono presente en el paisaje ganadero de Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. M.Sc. CATIE, Turrialba - Costa Rica 245 pp.

Edna Rocío Castañeda Salazar

Ingeniero Agroecólogo, Mg. en Agroforestería. Profesional adscrita a la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales para la Amazonia GISAPA.

Juan Carlos Suárez Salazar

Ingeniero Agroecólogo, M.Sc. en Agroforestería Tropical. Docente de carrera de la Universidad de la Amazonia. Grupo de Investigación en Agroecosistemas y Conservación en Bosques Amazónicos GAIA.

Autor para correspondencia:
E-mail: juansuarez1@gmail.com

Patrick Marie Lavelle

Investigador del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Grupo de Investigación en Uso y Manejo de Suelos y Aguas con Énfasis en Degradación de Suelos.